

·测试、试验与仿真·

基于BOM的红外成像导引算法评估系统设计

赵猷肄

(中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300308)

摘要:以红外成像空空导弹为仿真对象,采用BOM(基本对象模型)开发标准设计红外成像导引的层次化结构模型,介绍了系统组成,阐述了基于最大距离法的图像分割算法和综合评价目标的识别算法,研究了形心和相关跟踪算法的应用条件和工作过程,依据给定的评估准则建立了基于BOM的红外成像导引算法仿真评估系统,为抗干扰导引算法评估提供了平台。

关键词:BOM;红外成像;性能评估;图像处理;仿真

中图分类号:TN219

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2017)-01-0060-05

Design of IR Imaging Guiding Algorithm Evaluation System Based on BOM

ZHAO You-yi

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

Abstract: Taking infrared imaging air to air missile as the simulation object, with basic object model (BOM) development standard, the infrared imaging guiding hierarchical structure model is designed, and the BOM system composition is introduced. The image segmentation algorithm based on the maximum distance method and the recognition algorithm for the comprehensive evaluation target are discussed. The application conditions and working process of centroid and correlation tracking algorithms are studied. According to the evaluation criteria, the infrared imaging guiding algorithm simulation evaluation system is established based on BOM, which provides a platform for the anti-jamming guiding algorithm evaluation.

Key words: basic object model (BOM); infrared imaging; performance evaluation; image processing; simulation

红外成像制导导弹具有抗干扰性能强、制导精度高、隐蔽性好等优点,是当今精确制导武器的发展趋势。为了更好地分析红外成像制导导弹的制导性能,需研究影响其制导精确度的跟踪系统内的各种导引算法,因此对红外成像导引算法进行评估十分必要^[1-4]。

衡量红外成像导引算法优劣的标准是评估其探测跟踪目标的能力。通常的评估方法是半实物仿真,需要将导引头、转台以及伺服系统等引入仿真回路中,另外还需要红外场景投影仪等昂贵设备,投入较大。文中提出的基于BOM的信号注入仿

真属于全数字仿真,以红外成像空空导弹为仿真对象,采用BOM开发标准设计红外图像生成模型和红外图像处理模型,通过BOM组合工具将这两个模型组装为红外导引头成员,在BOM运行控制程序的调度下,与采用传统HLA生成的红外成像导引算法评估成员一起加入到仿真联邦中,构成红外成像导引算法评估系统的闭合仿真回路^[5-6]。

1 BOM概述

BOM^[7-9]作为开发仿真模型组件的基础,为一组

可重用的信息包,用来表示仿真内部交互活动的各种模式,它可作为一个仿真应用开发和/或仿真应用或联邦成员模型扩展的构建模块应用到仿真系统的开发和扩展中,通过不同的仿真模型组件组合实现联邦成员的灵活性和可组结构性。如图1所示,BOM包含四个主要的模板组件:模型识别、概念模型、模型映射和HLA对象模型。

模型识别(元数据)
概念模型
-模型描述 -状态机 -实体模型 -事件模型
模型映射
-实体类型映射 -事件类型映射
HLA对象模型
-HLA对象类 -HLA交互类 -HLA数据类型
注释
字典

图1 BOM模板结构

2 系统组成及框架设计

为了提高红外导引算法评估系统内模型的可重用性,保证开发出的模型具有通用性、灵活性、可扩展性和典型意义,红外导引算法评估系统采用分层结构与构件化设计方法。首先根据仿真需求,确定构成仿真系统的实体集合及其之间的交互关系;然后根据实体关系,确定系统联邦成员;再根据实体的可分解性,将模型划分为不同层次的模型;最后基于BOM标准采用自底向上的方法进行仿真开发。

如图2所示,红外导引算法评估系统包括基本模型、联邦成员和联邦三个层次,基本模型作为仿真系统的基本单元,包括红外图像生成模型和红外图像处理模型。其中,红外图像生成模型生成包含

目标、背景和干扰的红外热像作为图像信号源,可以将生成的数字化动态图像输出。红外图像处理模型作为导引头的图像处理单元,接收红外图像生成模型输出的动态红外图像,模拟导引头信息处理过程,进行图像数据的处理、分割、特征提取、目标分类、识别和跟踪,实时把解算出的目标偏离视场中心的方位角偏差和俯仰角偏差传回图像生成模型,图像生成模型通过这两个参数调整三维场景中导引头(观察者)的坐标,从而将导引头所“看”到的红外图像输出到图像处理模型。这两个模型通过BOM组合工具组装为红外成像导引头成员,模型之间内外部的交互按照接口关系在仿真运行时由BOM自动调配。红外成像导引算法评估成员基于传统HLA环境开发,接收红外成像导引头成员(实际上由红外图像处理模型产生)输出的叠加跟踪波门后的图像和“跟踪/丢失目标”的处理结果并显示,完成对红外成像导引算法的评估。由于采用了基于BOM组件和传统HLA相结合的开发方法,故整个仿真系统通过运行支撑环境RTI实现成员间和模型组件间的通信。图2为红外成像导引算法评估系统框架组成。

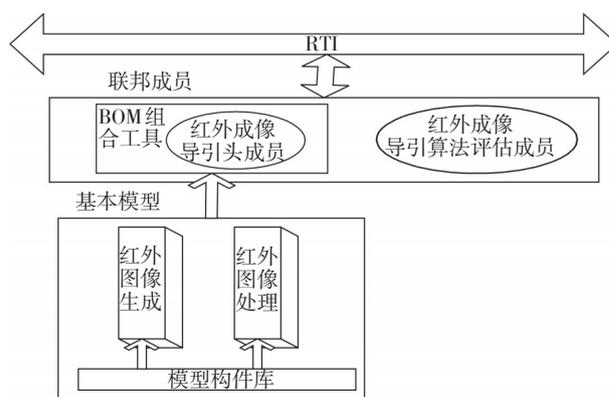


图2 红外成像导引算法评估系统框架组成

3 基于BOM的基本模型设计

基本模型设计需要按照BOM规范定义概念模型的相互作用模式、实体类型和事件类型,开发对应的对象模型,完善模型映射及元数据等信息,最终输出为XML格式的BOM定义文件^[10]。基本模型设计内容主要包括接口设计和功能设计两部分,以下主要分析基本模型的功能设计。

3.1 红外图像生成模型

根据红外成像导引头的工作原理,完成对红外图像生成模型的设计,涉及以下几个步骤:(1)根据红外理论,分析目标、背景和干扰的红外辐射特性,求出其固有辐射亮度;(2)按照目标与视点间的大气条件,利用大气传输模型,计算经过大气衰减到达红外传感器的辐射分布;(3)传感器对入射的辐射量进行一系列变换,将辐射量变换为可以显示的灰度值;(4)建立目标、背景和干扰的几何模型,通过三维图形编程,加入导弹和目标的运动,模拟产生战场环境,从而生成导引头所探测到的连续的红外热图。红外图像生成模型的工作过程如图3所示。

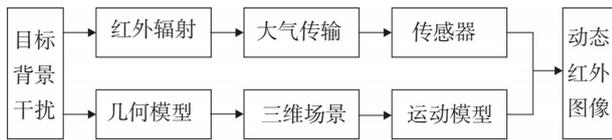


图3 红外图像生成模型工作流程图

3.2 红外图像处理模型

红外图像处理模型在功能上包括视频信号预处理、图像分割、目标识别和目标跟踪四大部分,其组成如图4所示。

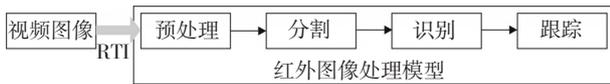


图4 红外图像处理模型工作流程图

3.2.1 图像预处理

原始图像中的干扰、噪声会影响对图像中目标的分割或边缘检测,使得分割出的虚目标增多或无法有效检测到目标边缘。为有效地抑制噪声,同时尽可能保持图像中的高频信息,考虑到滤波效果和减小计算量,采用如式(1)所示的中值滤波快速算法。

假设 $n \times n$ 个像素方形滤波窗口为

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} \cdots X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} \cdots X_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} \cdots X_{nn} \end{bmatrix}$$

则该方法表示为

$$G_k = \text{Median}\{X_{k1}, X_{k2}, \dots, X_{kn}\}, k = 1, 2, \dots, n$$

$$G = \text{Median}\{G_1, G_2, \dots, G_n\} \tag{1}$$

即将含有 $n \times n$ 个像素的二维阵列简化为 $n+1$ 个仅含 n 个像素的一维阵列进行取中值运算。

3.2.2 图像分割

对于红外成像空空导弹来说,其攻击目标主要为飞机,目标的背景比较单一,由于飞机飞行过程中蒙皮的气动加热,飞机的温度要高于背景温度,反映在红外图像中,对应目标像素的灰度级要远高于对应背景像素的灰度级。因此,基于飞机红外图像的这些特点,采用直方图分割中的最大距离法进行目标图像分割。最大距离法的基本思想是,在直方图取值范围内,任一灰度级可将直方图分为左右两部分,如果这两部分的灰度均值与总体的灰度均值相距最大,则该灰度级就取为分割门限。根据上述思想,可以定义最大距离法的均值距离测度为

$$R(T) = \frac{\left[\sum_{i=1}^T iP_i - \sum_{i=1}^M iP_i P_i(T) \right]^2}{P_i(T)[1 - P_i(T)]} \tag{2}$$

其中, M 为为红外图像总的灰度级; P_i 为 i 灰度级出现的概率; T 为分割门限, $P_i(T) = \sum_{i=1}^T P_i$ 。使 $R(T)$ 取最大值时的灰度级 T 即为最大距离法得到的图像分割的门限值。对原始图像 $f(x,y)$ 取阈值 T 分割后的图像可定义为:如果 $f(x,y) > T$, $g(x,y) = 1$; 如果 $f(x,y) \leq T$, $g(x,y) = 0$ 。由此即可实现对目标的阈值分割。

3.2.3 目标识别

在红外成像制导系统中,经过预处理的红外图像就可进行目标识别。目标识别在红外成像制导系统不同工作阶段,具有不同的功能。在红外成像制导系统的搜索阶段,主要功能是从视场中识别出需要跟踪的目标;在跟踪阶段,制导系统已经稳定跟踪了目标,这时主要功能是正确判别跟踪的目标。

常用的目标识别算法主要有统计模式目标识别、基于模型(知识)的目标识别、基于不变量的目标识别、特征匹配目标识别和模板相关匹配目标识别算法等。根据提取的目标特征,采用了机遇特征匹配的综合评判方法。该方法将各特征表示为对目标的隶属度,然后利用这些隶属度构造一个目标

置信度函数 P , 进行综合评判。当 $P > 0.5$ 时, 分割区域是目标; $P < 0.5$ 时, 分割区域不是目标; $P = 0.5$ 时, 不确定。

3.2.4 目标跟踪

根据空空导弹的特点, 设计了形心跟踪和相关跟踪两种跟踪方式, 采用边识别边跟踪的方法。若视场中只有单目标, 则识别后立即跟踪该目标; 若视场中出现多目标, 则经识别后跟踪置信度最高的那个目标。跟踪方式的切换依据为: 当目标较小没有充满整个视场, 而且目标与背景易于分离时, 采用形心跟踪; 当难以有效地分割出目标区域或目标充满整个视场时, 采用相关跟踪。

对于形心跟踪, 设目标图像面积为 A , 位于坐标点 (x, y) 处的像素的微面积为 $dA = dx dy$, 这一像素内的光能密度为 $\delta(x, y)$, 因此在这个像素内的光能应为 $\delta(x, y)dA$, 则目标的坐标为

$$x_c = \frac{M_x}{M} = \frac{\int_A x \delta(x, y) dA}{\int_A \delta(x, y) dA} \quad y_c = \frac{M_y}{M} = \frac{\int_A y \delta(x, y) dA}{\int_A \delta(x, y) dA} \quad (3)$$

其中, M 为整个目标区 A 内的总光能, M_x 和 M_y 分别为相对于 x 、 y 轴的能量矩。

对于相关跟踪, 考虑到实时性, 采用了序贯相似度检测算法 (SSDA)。SSDA 算法是一种对绝对差法进行序贯相似度检测处理的匹配方法。设实时图像的大小为 $M_1 \times M_2$, 基准图像大小为 $N_1 \times N_2$, 基准图像相对实时图像的位移为 (x, y) , 则相关函数定义为

$$T(x, y) = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} |g_{i+x, j+y} - g_{i, j}| \quad (4)$$

其中, $g_{i, j}$ 表示基准图像上坐标为 (i, j) 点的灰度值; 而 $g_{i+x, j+y}$ 是两图像相对位移为 (x, y) 时, 基准图像上点 (i, j) 对应于实时图像的灰度值。当这绝对差相关函数值最小时, 该位置为匹配点。

4 联邦成员设计及系统实现

4.1 红外成像导引头成员

基于 BOM 的联邦成员通过 BOM 组合工具来完成。在生成红外图像生成模型和红外图像处理模型 BOM 组件后, 通过模型组装工具将相应的模型组件聚合为成员配置文件。图 5 为红外成像导引头成员组装图。

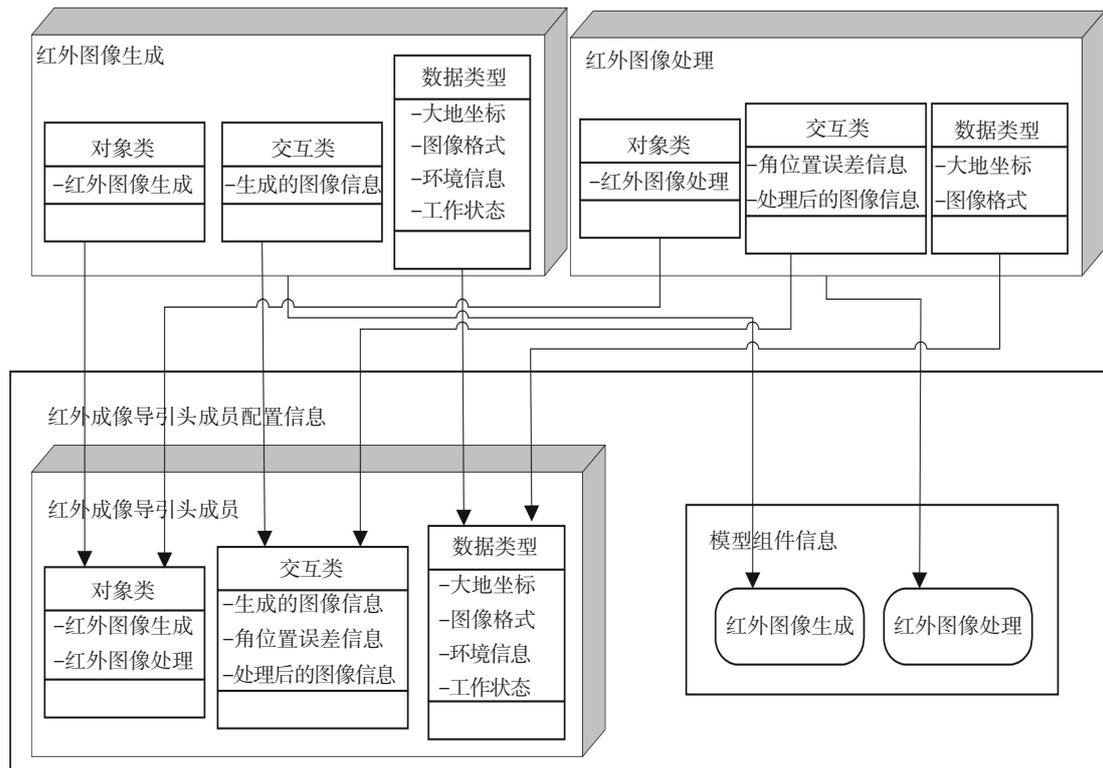


图 5 红外成像导引头成员组装图

4.2 红外成像导引算法评估成员

红外成像导引算法评估成员基于传统的 HLA 开发,通过获取红外成像导引头成员输出的叠加跟踪波门后的图像,协同实现系统功能。将获取的图像信息显示在程序界面上,通过对图像上跟踪波门的观察,再结合输出的处理结果,可直观地评判导引算法的优劣。

4.3 系统实现

基于 BOM 的红外成像导引算法评估系统采用 KD-SmartSim 来实现, KD-SmartSim 由基于 BOM 的组件生成工具(BOMFactory)、仿真模型组件装配工具(FedAssemble)和可扩展仿真运行框架(XSRFrame)三部分组成,其使用流程如图6所示。

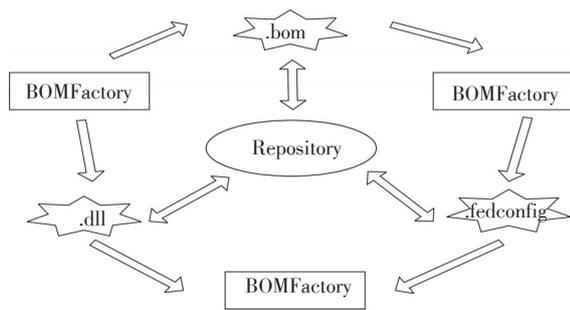


图6 KD-SmartSim使用流程图

红外成像导引算法评估系统的实现步骤如下:

(1)在红外成像导引算法评估系统框架设计的基础上,利用BOMFactory工具对要开发的仿真模型组件进行建模,并产生模型组件的描述文件BOM,在通过HLA对象模型表描述仿真模型组件与外界进行信息交互的能力的同时,通过相互作用模式表和概念模型表描述仿真模型组件内部的动态行为;

(2)利用BOMFactory产生的BOM并生成相应的仿真模型组件代码(特定于C++的编程语言),在Microsoft VC++开发集成环境下完成仿真模型组件的开发和调试;

(3)利用FedAssembler构建所需联邦成员的配置文件,该文件描述了联邦成员间信息交互能力,以及构成联邦成员所需的各个仿真模型组件的交互信息,通过该文件还可以设置联邦成员的基本信息(如联邦名、联邦成员名等),设置各个仿真模型

组件的初始化时间、更新频率和结束时间等;

(4)运行XSRFrame仿真运行框架,加载各联邦成员的配置文件,自动加载构建联邦成员所需的仿真模型组件,快速完成联邦成员的创建,利用运行框架提供的仿真调度器协调每个仿真模型组件的仿真运行逻辑;

(5)启动RTI,将各联邦成员加入红外成像导引算法评估系统联邦实现仿真。

5 结论

研究了基于BOM的红外成像导引算法评估系统框架和模型设计思想,采用这种方法构建出的算法模型,具有通用性和典型意义,其功能与仿真框架相耦合,提高了模型开发效率及专业性,使模型的灵活性和可扩展性大大增强。此评估系统也可通过在红外图像生成模块中迭加干扰,评估导引算法的抗干扰性能和干扰源的干扰性能,从而进一步扩展为光电对抗系统的评估平台。

参考文献

- [1] 方有培. 对红外成像制导导弹的干扰技术研究[J]. 红外与激光工程, 2006, 29(3): 7-10.
- [2] 韩涛, 朱学光, 吴世龙. 对红外成像制导导弹的综合干扰[J]. 航天电子对抗, 2002(5): 26-28.
- [3] 殷艳红, 王学伟. 强激光干扰红外成像制导导弹效能仿真研究[J]. 红外技术, 2008, 30(1): 18-20.
- [4] 孙新, 姜宁, 郝立波. 诱饵牵引法对抗红外成像制导导弹技术[J]. 火力与指挥控制, 2004, 29: 95-97.
- [5] 王学伟, 沈同圣, 周晓东. 基于信号注入仿真的红外成像导引算法评估系统[J]. 系统仿真学报, 2004, 6(2): 337-339.
- [6] 郑均杰, 李杰然. 红外成像导引头目标识别方法研究[J]. 舰船电子对抗, 2012, 35(1): 34-37.
- [7] 龚建兴, 钟蔚, 黄健, 等. 基本对象模型(BOM)在HLA仿真系统中的应用[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 327-331.
- [8] 陈云, 徐洋, 安玮. 基于BOM的STSS系统仿真设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(11): 2679-2682.
- [9] SISO Base Object Model Product Development Group. Guide for Base Object Model (BOM) Use and Implementation [Z]. SISO-STD-003-2006.2006.