

基于 HLA 仿真的空战动态效能评估研究

董小龙¹, 孙金标¹, 焉 彬²

(1. 空军指挥学院, 北京 100097 2 北京航空航天大学航空科学与工程学院, 北京 100083)

摘要: 为建立战斗机空战对抗模拟仿真环境, 进行战斗机空战动态效能评估和演示验证, 方便空战战术技术的研究, 分别提取超视距空战和视距内空战阶段的动态评估指标体系, 综合考虑对抗过程中的诸多因素, 利用 HLA/RTI 技术, 详细设计和开发了仿真系统中各联邦成员仿真对象模型。将现代空战过程划分为若干赋权子阶段, 并借助于先进分布式仿真技术的空战效果评估, 是实现空战动态效能评估与仿真的一种有效方法。

关键词: 空战仿真; HLA; 效能评估; 仿真对象模型; 视景仿真

中图分类号: V271.4 TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2009)03-0017-04

Dynamic Evaluation of Fighter Aircraft Effectiveness in Air Combat Based on HLA Simulation

DONG Xiaolong, SUN Jinbiao, YAN Bin

(1. Air Force Commander College Beijing 100097 China

2 Beijing University of Aeronautics & Astronautics Beijing 100083 China)

Abstract: To establish the simulation environment for air combat of fighters, we carried out dynamic effectiveness evaluation and demo demonstration. A dynamic index system for air combat evaluation was established for different phases according to characteristics of Within Visual Range (WVR) and Beyond Visual Range (BVR). Considering a good many factors in the combat, the federation member and simulation object model were developed in detail by use of HLA/RTI. The air combat procedure was divided into some sub-phases and distributed simulation technology was used to realize dynamic effectiveness evaluation. The result of evaluation demonstrated that this method is effective.

Key words: air combat simulation; High Level Architecture (HLA); effectiveness evaluation; simulation object model; scene simulation

0 引言

信息化条件下的空战, 是敌对双方的战斗机在各自地面指挥所、空中预警指挥机、电子干扰机等信息和火力支援下在空中进行的多机种、多机群的协同作战行动^[1]。现代歼击机空战的内容十分丰富, 大体可分为视距内 (Within Visual Range WVR) 空战和超视距 (Beyond Visual Range BVR) 空战。战斗机的空战效能是指战斗机完成预定作战任务能力的大小, 战斗机的效能高低对空军实力来说是至关重要的^[2]。传统的空战效能评估是对战斗机本身能力的“静态”评估, 考虑

对抗的因素较少。如何分析各种信息力量的影响, 进行空战效能的动态评估, 是空战对抗仿真训练系统的一个核心组成和难点问题。文中利用 HLA (High Level Architecture) 仿真技术对空战效能评估指标、仿真系统的组成、模型的描述与开发以及动态效能评估的内容等进行了详细的研究。

1 空战效能动态评估指标

1.1 超视距空战阶段

超视距空战一般可以分为以下 3 个阶段^[3]:

1) 战斗机从机场起飞到预定空域的引导阶段。

在此飞行阶段中, 战斗机根据地面指挥所或预警指挥机指定的目标所在空域, 按事先规划好的飞行剖面, 飞到预定的飞行高度、速度和空域, 当战斗机进入火控系统可发现敌机的空域后火控系统的雷达即转入探测状

收稿日期: 2008-03-06

修回日期: 2008-12-05

作者简介: 董小龙 (1981-) 男, 山西芮城人, 博士生, 主要研究方向为合同战术学、空战仿真。 E-mail: na_long@126.com

态为完成引导阶段飞行。在此建立引导成功概率 (P_Y 作为该阶段的评估指标。

2)探测、搜索和发现目标的搜索阶段。在此飞行阶段中,战斗机通过火控系统的雷达所获得的信息,经驾驶员操纵或自动控制,使战斗机在水平面和铅垂面内完成相应的机动飞行。一旦截获目标,火控系统即转入截获和自动跟踪状态,进而转入攻击的阶段。为此建立战机捕获和优势累积两个指标。其中战机捕获用先敌发现时间、先敌发现距离来衡量,而优势累积通过优势累积函数来评估。

3)截获、跟踪到攻击目标的攻击阶段。在此飞行阶段,主要是进入目标较有利的位置,创造导弹发射条件;瞄准目标,当目标进入导弹允许发射区后,即可发

射导弹。为此建立目标捕获和空战结果两个指标,其中目标捕获由先敌攻击时间来衡量,空战结果则通过击毁概率和战损比来体现。

1.2 视距内空战阶段

视距内空战一般过程为:搜索飞行阶段、接敌飞行阶段、攻击阶段和退出攻击阶段。由于视距内空战飞行员通过目视或其他机载探测设备搜索目标,主要用红外格斗导弹以空中格斗战术进行空战,因此引入战机捕获、占位成功率、优势累积和空战结果 4 个评估指标。

最后空战效能的动态评估指标体系如表 1 所示。信息化条件下的空战效能为 $P_P = X_1 \cdot P_{PC} + X_2 \cdot P_{PJ}$, 其中: X_1 和 X_2 为重要度权值系数, $X_1 + X_2 = 1$ 。

表 1 空战效能的动态评估指标体系

Table 1 Air combat dynamic effectiveness evaluation index architecture

超视距空战阶段的空战效能 P_{PC}										视距内空战阶段的空战效能 P_{PJ}					
引导阶段				搜索阶段			攻击阶段			搜索飞行阶段		接敌飞行阶段		攻击阶段	
引导成功率 P_Y				战机捕 获 T_Y	先敌 发现	优势 累积	目标捕 获 $T_{Y\&G}$	空战 结果		战机捕 获 T_J		占位成 功 率 P_{JZ}		优势 累积	空战 结果
距离 上引 导成 功 率 P_{γ}	方位 上引 导成 功 率 P_{α}	高低 角上 引 导成 功 率 P_{β}	引导 通信 畅通 率 P_t	先敌 发现 时间 $T_{Y\&F}$	先敌 发现 距离 $D_{Y\&F}$	先敌 攻击 时间 $T_{Y\&G}$	先敌 攻击 时间	战 损 比	击毁 概率 P_{yh}	先敌 发现 时间 $T_{J\&F}$	先敌 发现 距离	占位 成功 率 P_{JZ}	先敌 攻击 时间 $T_{J\&G}$	先敌 攻击 时间	战 损 比 P_{jh}

2 战斗机空战效能动态评估仿真系统

空战效能评估仿真系统的目的是建立一套多机对抗模拟仿真环境,进行战术技术研究、作战效能评估与优化和演示验证。仿真系统应用研究包括:

1)虚拟视景仿真平台。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。该仿真平台可切换选择多种视点模式,提供了多种操纵界面,满足飞行视景仿真需要。

2)空战效果评估分析研究。根据仿真模拟的不同电子干扰措施、预警指挥机对空战效能的影响,运用相应的数学仿真模型,评估空战对抗效果。

3)作战想定的演示与验证。根据敌我现有及将来可能拥有的作战资源,制定相应的作战想定,运用定性 与定量相结合的手段,在作战仿真平台上对不同想定进行推演与验证,比较分析在不同作战样式、战场环境条件下现实及将来的航空兵作战能力。

3 仿真系统 SOM 描述与开发

效能评估仿真系统采用了 HLA/RTI(Runtime Infrastructure,运行支撑系统)的结构形式。由于 HLA 具有许多优点:模型的可重用性、互操作性,能提供更大规模的将构造仿真、虚拟仿真、实况仿真集成在一起的

综合环境,可以建立不同层次和不同粒度的对象模型等^[4]。其底层性能良好的通讯机制支持,可以使开发人员将主要精力放在应用软件的开发上。仿真对象模型 (SOM, Simulation Object Model)描述各个仿真(实现仿真功能)能提供给联邦的数据交换的本质能力。这使得联邦开发者易于将“联邦需求”映射到各个仿真中去,从而能迅速而高效地建立联邦的最优组合^[5]。

战斗机空战效能动态评估仿真系统的结构如图 1 所示。

SOM₁: 仿真飞机可挂载一定数量和型号的导弹,飞机通过操作员操控或服务器发送指令能进行一些机动飞行,并可以通过手工控制对敌机发射导弹。

SOM₂: 视景仿真模块在收到系统发出的输出结果后,驱动视景数据进行多通道三维视景显示,同时配以立体声声效等其他多种多媒体效果。

SOM₃: 主要完成对蓝方雷达、无线电通信及空空导弹的干扰模拟,实现干扰环境的仿真。重点在指挥引导阶段进行干扰时对引导成功率的影响,而在战术机动、攻防态势分析及决策输出和攻击模型上的干扰主要通过优势的累积、战机捕获和对导弹击毁概率的影响来体现。

SOM₄: 预警指挥机对空战的影响主要体现在两个方面: 1)对空战战场进行监控和预警,它主要探测低空、超低空飞行目标和水面目标以实现远距离发现敌

空袭企图, 为防空作战争取尽可能长的预警时间。2) 指挥引导己方战斗机截击空中目标, 通过无线电台用语音或数据链, 将目标的位置、航向、速度, 与己方战斗机的相对距离、方向与高度差提供给己方战斗机飞行员, 并实时提供战斗机应采用的飞行参数指令(航速、

航向) 以便己方战斗机从有利战斗方向与目标交汇, 从而提高己方战斗机的占位成功率等作战优势。但从影响空战能力方面来看, 则集中体现在预警距离、目标处理和对战斗机的引导能力、信息传输和抗干扰能力上。

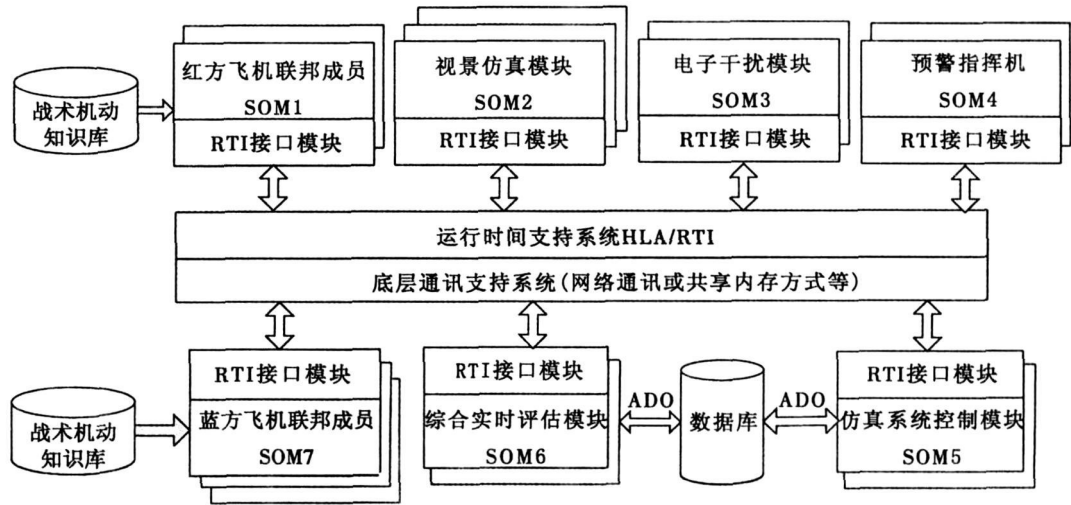


图 1 战斗机空战效能动态评估仿真系统组成

Fig 1 The structure of air combat dynamic effectiveness evaluation simulation system

SOM5 仿真系统控制模块根据数据库中的信息完成空战对抗作战想定的制作, 完成仿真控制模块完成联邦运行控制, 在初始化阶段向各联邦成员发送初始化命令及成员初始化信息; 当接收到所有成员初始化成功信息后, 向各成员发送仿真开始控制命令; 在仿真结束时, 向各成员发送仿真结束控制命令。

SOM6 空战效能实时评估模块是针对当前空战的态势, 对当前空战的样式, 超视距空战和视距内的空战效能按动态评估指标进行实时评估。并计算出空战效能评估的指数值。选择战斗机完成任务的成功率 $P_{\text{完成}}$ 作为评判战斗机空战效能的指标。如果整个空战过程分为几个阶段, 且所在各阶段均是相互独立发生的事件, 则完成任务的概率 $P_{\text{完成}}$ 可以表示为

$$P_{\text{完成}} = P(A_1) P(A_2) \dots P(A_n) \tag{1}$$

分别依据式 (1) 计算超视距空战阶段的效能 P_{PC} 和视距内空战阶段的效能 P_{PJ} 。从表 1 可知, 信息化条件下的最终的空战动态效能为

$$P_p = X_1 \cdot P_{\text{PC}} + X_2 \cdot P_{\text{PJ}} \tag{2}$$

其中: X_1 和 X_2 为重要度权值系数, $X_1 + X_2 = 1$ 。

数据库采用 Oracle 数据库管理系统, 包括空战双方各种战斗机、电子干扰机、预警指挥机、机载雷达、中远距空空导弹和近距空空导弹的战术 技术性能数据, 几何和气动参数, 有关大气参数等。以及还有效能评估数学模型库。数据库系统不直接和 HLA/RTI 交互, 而是通过 ADO 和与之有关的仿真节点进行交互。

战术机动知识库空战战术机动领域专家的专门知识, 例如战斗机在某种具体的空战态势下, 所应采取的战术机动方法的决策, 决策的内容包括战斗机战术机动的时机、方式(攻、防) 以及战斗机的控制(如空空导弹的发射时机、数量、类型选择等)^[11]。

4 仿真系统的联邦 FOM 设计

联邦中使用到的所有模型格式必须遵循 HLA 标准中 OM1 的要求, 即采用对象类和交互类来记录联邦成员的概念模型^[9]。在空战效能动态评估仿真系统中, 仿真任务是以模块为基本单位进行划分的。对象类和交互类的设计, 实际上就是确定各个成员之间的数据流和控制流。它直接体现 HLA 标准的目的, 即仿真对象间的互操作和仿真资源的可重用, 这也是运用 HLA 技术实现仿真应用系统的关键。各个联邦成员可以通过发布和订购对象类和交互类来获得该联邦所需要的数据信息, 同时将其其他联邦成员所感兴趣的信息发送出去。在空战效能动态评估仿真系统, 可以对联邦执行过程中的交互数据、联邦想定和联邦概念模型进行优化合并, 得到系统的联邦对象模型 (FOM), 确定仿真联邦 FOM 中的对象类和交互类以及它们的属性和参数。表 2、表 3 分别介绍了系统中所设计的部分交互类和对象类信息(即 FOM/SOM)。其中: M 为仿真控制联邦成员; Z 为红方飞机联邦成员; H 为蓝方飞机联邦成员; 为电子干扰联邦成员; R 为预警指挥联邦成员; W 为综合实时评估

联邦成员; ALL为所有联邦成员。

表 2 系统中部分对象类信息

Table 2 Information of some object class in the system

对象类名称	发送方	接受方	描述
红方飞机联邦飞机成员	Z	HW R	红方飞机的数据信息
导弹	Z H	Z H R	导弹信息
预警指挥机	R	Z H I	预警指挥机数据信息
...

表 3 分系统中部分交互类信息

Table 3 Information of some interact object class in the system

交互类名称	发送方	接受方	描述
仿真启动	M	ALL	仿真启动
导弹发射命令	Z H	Z H IR	发出导弹发射指令
发射干扰类	I	Z H	发出干扰指令
雷达探测类	Z H	Z H IR	目标类型和坐标
...

5 HLA联邦成员实现

联邦成员模型的内容主要包括 3 个部分: 联邦成员实体模型、交互模型和运行逻辑。实体模型直接描述实体自身的行为特征, 或者是一组动力学和运动学方程, 或者是一组事件流, 可以运用传统的连续系统和离散事件系统仿真方法建立实体模型^[7-8]。主执行逻辑是实体模型的执行体, 交互模型描述系统中各实体间的交互作用, 它基于 HLA/OMT 的 ROM SOM 表, 按照 HLA/RT 的接口规范进行说明。这 3 部分有机地结合在一起, 组成一个联邦成员, 完成特定的仿真任务^[9-10]。以红方飞机联邦成员为例, 其模型的简化逻辑描述如图 2 所示。

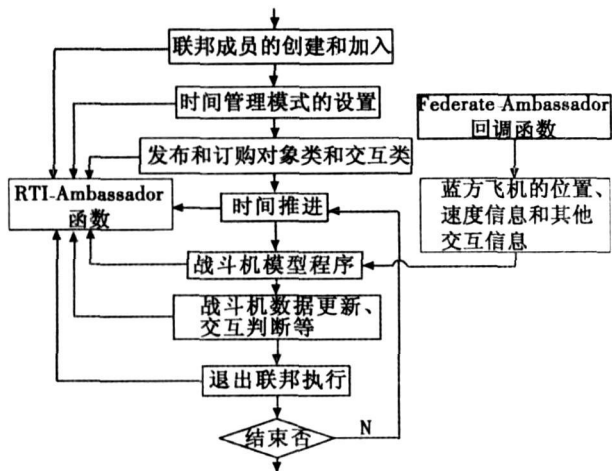


图 2 红方飞机联邦成员仿真模型逻辑流程

Fig 2 The red federation plane simulation model logic flow chart

红方飞机联邦成员通过调用提供的 RT 的标准服务 RTIAmbassador 完成加入联邦、设置时间管理方式、发布和订购对象类和交互类等工作, 它的主要实体特征通过战斗机模型程序来描述实现。它通过调用 RTIAmbassador 来更新飞机类的数据, 在特定的时刻发送如导弹发射的交互类信息。同时, RTI 又通过回调 FederationAmbassador 的接口将红方飞机联邦成员订购的其他对象类属性传递给飞机联邦成员。其中发布和订购的对象类和交互类即为上面定义的信息。自身的行为特征和与其他成员间的信息交互按照一定的逻辑运行, 构成了该联邦成员的仿真模型。

6 结束语

空战效果的动态分析与评估, 是空战对抗仿真训练系统的一个核心组成和难点问题。通过深入研究, 利用 HLA/RT 思想设计空战效能动态评估仿真系统, 详细描述了系统的仿真对象模型, 并进行了相应的开发。提出了将空战过程划分为若干赋权子阶段的空战效果评估方法, 可实现空战的动态仿真与评估。

参考文献

[1] 徐荣红. 信息化条件下空战效能分析研究[D]. 北京: 空军指挥学院, 2006

[2] 王礼流, 李寿安, 张恒喜. 灰色关联投影法在战斗机空战效能评估中的应用[J]. 电光与控制, 2006 13(2): 1-3

[3] 张彦冰. 空军航空兵战术教程[M]. 北京: 空军指挥学院, 2005

[4] 郭齐胜, 张伟. 分布交互式仿真及其军事应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003

[5] DMSQ High level architecture run time infrastructure programmers guide[Z]. 1998

[6] 刘杰. 基于 HLA 的飞行仿真系统框架的构建[D]. 济南: 山东大学, 2005

[7] 周彦, 戴剑伟. LHA 仿真仿真程序设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002

[8] 焦逊, 陈永光, 李修和. 基于 HLA 的星载 SAR 电子干扰效能评估仿真系统设计[J]. 系统仿真学报, 2006 18(2): 349-352

[9] 王宏, 杨建军. 基于 HLA 与 VEGA 的地空对抗仿真系统设计[J]. 系统仿真学报, 2007 19(16): 3702-3704

[10] 程恺, 张宏军. 基于 HLA 的防空兵指挥自动化系统仿真研究[J]. 复杂电磁环境下的作战、训练、保障与军事运筹研究, 北京: 蓝天出版社, 2007 346-349