

基于 UML 的电子支援下截击空战建模与仿真

郭俊杰^{1,2}, 王兴华¹, 王星¹, 程嗣怡¹, 张文侠², 赵亚金³

(1. 空军工程大学航空航天工程学院, 陕西西安, 710038; 2. 中国人民解放军 93987 部队, 青海西宁, 810007; 3. 北京军区空军司令部信息化处, 北京, 100061)

摘要 针对未来空战中新的作战样式和作战对象, 研究了电子支援下截击空战仿真的关键问题。以歼击机、无人机和电子战飞机组成的空中联合编队为主要研究对象。采用面向对象建模技术, 利用 UML 的用例图、类图研究了截击空战的静态功能结构, 通过序列图、活动图建立了截击空战的交互模型和活动转换模型, 系统地描述了作战流程, 重点突出了电子对抗建模, 最后实现了截击空战仿真系统。仿真实验证明: 该系统能为航空电子对抗系统作战效能评估提供实验平台。

关键词 飞机编队; 机载雷达; 截获接收机; 施里海尔截获因子

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.04.006

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)04-0026-05

截击空战是一个复杂的系统工程, 涉及实体众多, 实体间关系复杂, 不确定的因素多, 实战演习花费大、危险性高、牵扯因素广。因此需要建立准确合理的军事概念模型进行截击空战仿真, 从而对其进行研究。利用一种可视化建模语言 UML 能够可视化地构造军事行动这类极其复杂的系统, 建立起精确的军事概念模型, 为仿真系统的开发提供了丰富、严谨、扩充性强的表达方式^[1-3]。

以往的截击空战建模与仿真多侧重于决策建模、战术动作与控制仿真, 作战流程描述不够系统完整, 凸显电子对抗的截击空战仿真研究较少。本文以 UML 为建模工具对电子支援下截击空战进行全面深入的分析, 重点研究了电子对抗的建模与仿真, 并在此基础上实现了仿真系统。

1 系统建模分析

1.1 截击空战作战流程分析

以超视距空战样式为基准, 对典型的截击空战作战流程进行分析。进攻方编队按预定航线巡航, 防御方地面预警系统开始搜索目标, 预警指挥机进行防空预警, 当现目标后, 将情报传递给指挥决策系统, 后者进行目标识别, 威胁评估, 下达作战命令。防御方空中联合编队起飞, 巡航至战区, 预警系统将目标信息传递给空中联合编队, 主战飞机机载雷达针状波束开始扫描。当两机相距一定距离时, 进攻方机载雷达率先搜索到并跟踪防御方战机, 防御方电子干扰飞机持续进行大功率压制性干扰, 机载自卫电子对抗设备实施有源干扰。此时, 进攻方战机采取抗干扰措施, 截获并稳定跟踪防御方主战飞机, 使其进入进攻方导弹不可逃逸区, 随后无人机发射远距空空导弹。导弹按预定程序进行初制导, 然后进攻方战机对导弹进行中制导, 当达到一定距离后, 导弹中末制导交班, 雷达导引头截获并跟踪防御方战机。进攻方导弹首先进入末制导, 防御方主战飞机对导弹实施欺骗性干扰和复合干扰, 无人机实施假目标和两点源干扰, 电子战飞机实施压制性干扰, 防御方主战飞机实施机动。防御方雷达和导弹对进攻方战机的搜索、截获、跟踪过程类似。以上从防御方考虑确

¹ 收稿日期: 2012-03-07

基金项目: 陕西省电子信息系统综合重点实验室基金资助项目(201113Y01)

作者简介: 郭俊杰(1986-), 男, 河南漯河人, 硕士生, 主要从事电子对抗理论与技术研究。

E-mail: gjjuojunjie_1@126.com

定的最有效干扰样式,当站在进攻者角度时,干扰样式可以变化。

1.2 截击空战逻辑结构模型

根据系统作战流程及系统的构成,可以将整个系统分为进攻方和防御方 2 部分。防御方由预警探测系统、指挥决策系统、空中联合编队组成,进攻方只有空中联合编队,各作战节点之间互通的信息流有:情报信息、截击作战命令、远距离电子支援命令、指挥引导命令。攻防对抗双方的交互有:机载雷达搜索与跟踪、电子对抗、导弹攻防、战机机动。系统逻辑结构模型见图 1。

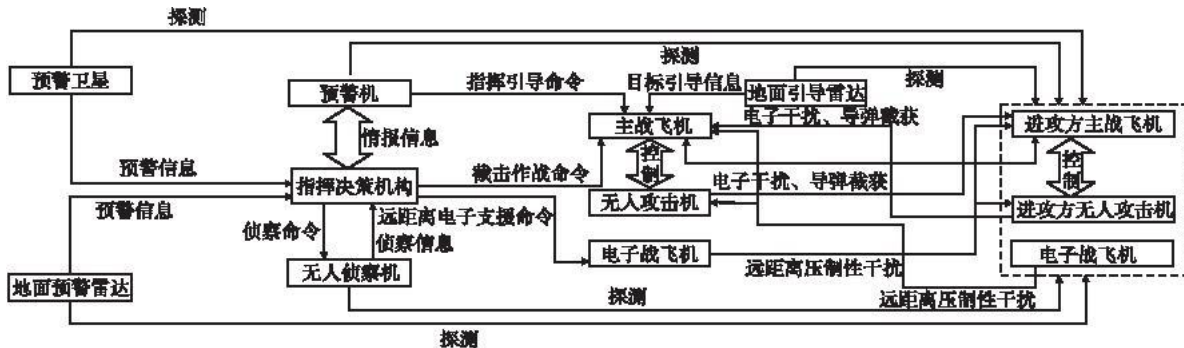


图 1 截击空战系统逻辑结构模型

Fig. 1 Logic structure model of volleying air combat

1.3 仿真系统功能及实体描述

截击空战仿真系统主要用于航空电子对抗装备作战效能评估和战法研究,涵盖攻防推演仿真、战机巡航仿真、战机机动仿真、导弹发射及飞行仿真、机载雷达扫描及跟踪仿真、机载告警及干扰仿真、预警系统仿真等。

本文基于面向对象的思想和对军事体系对抗复杂性的分析,使用模块化的建模思路,将截击空战仿真实体划分为典型的模块实体类。根据仿真系统的目标,仿真实体划分的粒度不尽相同,地面仿真实体分辨率低于空中仿真实体的分辨率,电子对抗子系统、机载雷达实体、空空导弹实体需要给出具体属性和操作。系统实体类图见图 2。

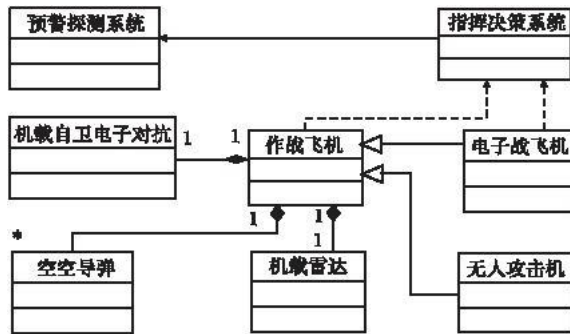


图 2 截击空战仿真系统类图

Fig. 2 Class diagram of volleying air combat simulation system

1) 指挥决策系统类(Command System),空战指挥决策系统是空战的指挥中枢,负责情报信息处理,作战态势评估,作战决策制定,作战命令下达,并进行打击效能评估。

2) 预警探测系统类(ISR),主要探测敌方的兵力、装备、部署、行动情况,为我方作战行动提供情报信息和一定的预警时间。

3) 作战飞机类(Fighter Plane),发射空空导弹,并能进行近距格斗和自卫电子对抗。该类是一个父类,无人机和电子战飞机继承自该类,机载雷达类、机载自卫电子对抗类、空空导弹类与该类的关系是聚合关系。

4) 机载雷达类(Airborne Radar),类的属性有:实体 ID 号,发射功率,信号频率上下限,接收机带宽,方位、俯仰角上下限,接收机灵敏度,天线方向图等。类的操作有:搜索,跟踪,边搜索边跟踪,搜索加跟踪。

5) 机载自卫电子对抗系统类(Airborne EW),类的属性有:实体 ID 号,干扰频率上下限,干扰最大功率,前后向波束方位角宽度、俯仰角宽度,干扰压制距离,速度、距离、角度拖引速度、捕获期、拖引期、停拖期,箔条弹、红外弹数量及参数等。类的操作有:对对方雷达和导引头实施压制性干扰、欺骗性干扰、无源干扰和复合干扰等。

6) 电子战飞机类(EA Plane),为我方战机提供远距离电子支援,对敌预警探测系统和作战飞机进行电子进攻,干扰敌机载雷达跟踪和导弹制导过程,降低敌方跟踪和制导精度,提高我方战机的生存率。

1.4 截击空战交互模型

截击空战的主要目的是拦截和攻击敌方空中目标,行动的展开是在一定的时间和空间中进行,交互模型需要描述各个阶段行动开展的情况、各个主体的活动状态情况和为完成目标各个主体之间通信交互情况。

截击空战交互模型基于 UML 动态建模机制建立,描述了作战流程随时间推移的可视化轨迹,见图 3。图中,横轴表示各个对象及对象之间的交互过程,纵轴表示各个对象的生命周期及在各个时间节点的行动情

况。序列图能清晰地表示行动过程中的交互和信息流通的先后次序,如指挥机关对情报信息的处理、态势的评估、决策的制定,双方的雷达跟踪与电子对抗、导弹跟踪与电子对抗及机动等。

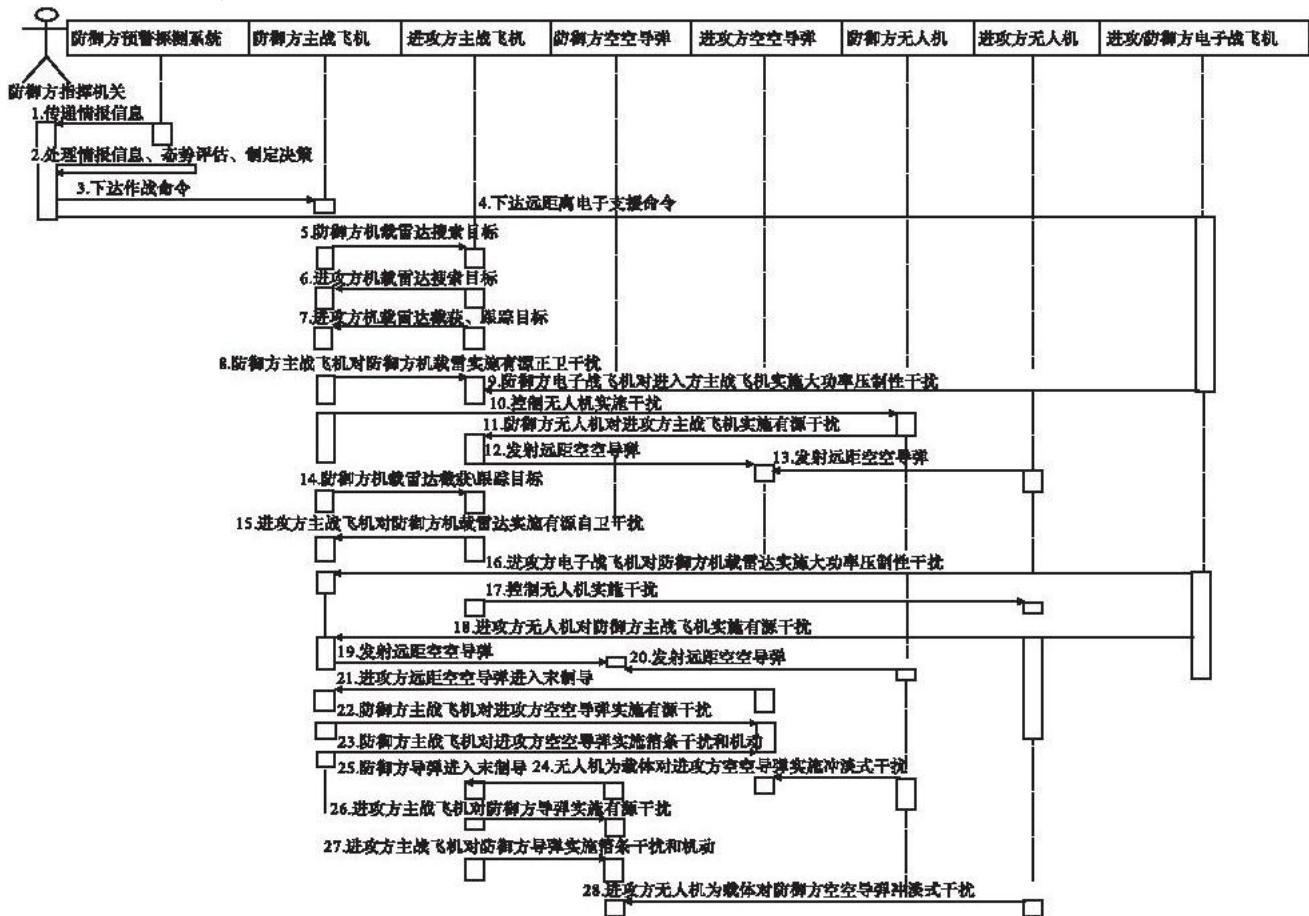


图3 截击空战序列图

Fig. 3 Sequence diagram of volleying air combat

1.5 截击空战过程模型

系统中各类实体都有其独有的任务,在作战过程中变现出其具体的作战行为^[6-7]。截击空战过程模型主要描述空中联合编队在整个作战过程中的活动状态及各种状态的转换过程,进攻方空空导弹末制导阶段过程模型见图4。

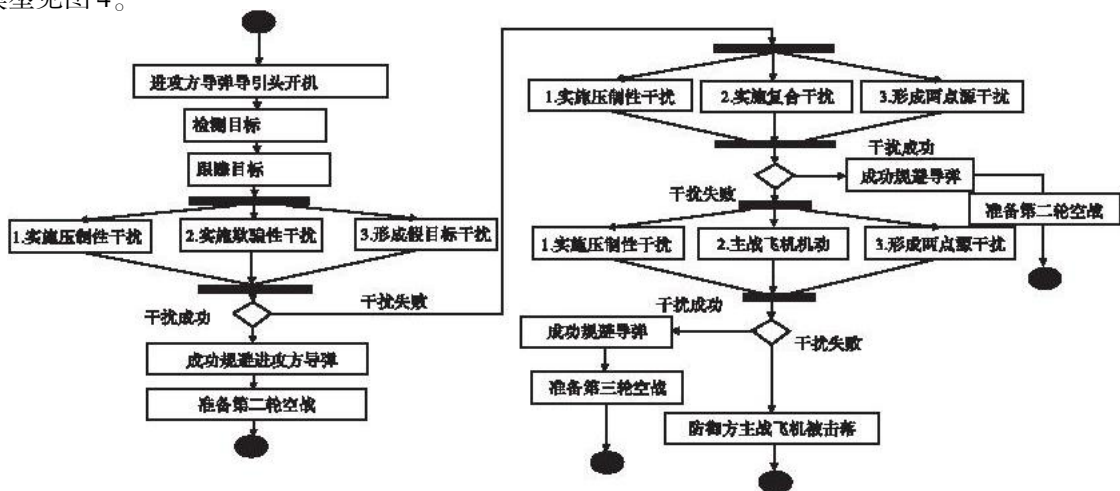


图4 截击空战导弹末制导阶段活动图

Fig. 4 Missile terminal guidance stage activity diagram of volleying air combat

进攻方导弹末制导过程中,防御方电子战飞机实施压制性干扰,主战飞机可以对导弹实施角度、速度、距离欺骗性干扰,照射箔条的复合干扰和机动等。无人机群与主战飞机保持同样的速度和一定的距离,保证处于导引头的同一分辨单元内,成疏散防御队形时形成多假目标干扰,成密集防御队形时形成两点源干扰,进

而实现速度和角度欺骗干扰^[8-9]。

2 干扰效能评估模型

对于压制性干扰,干扰效能采用压制系数(K_a)和抗干扰改善因子^[10](EIF)综合度量,压制系数定义为:检测概率 $p_d \leq 0.1$ 时雷达输出端的干信比,即: $K_a = (J_a/S_a) |_{p_d=0.1}$,式中: J_a 为干扰信号功率; S_a 为回波信号功率; K_a 有效值根据外场实验给出。

抗干扰改善因子定义为:雷达未采取抗干扰措施时,雷达输出端的信干比与雷达引入某几种抗干扰措施后,雷达输出端的信干比的比值,即: $EIF = (S_b/J_b)/(S_a/J_a)$,式中: S_b/J_b 为未采取抗干扰措施时雷达输出端的信干比; S_a/J_a 为采取抗干扰措施后雷达输出端的信干比。

对于欺骗性干扰,干扰效能采用欺骗性干扰概率 C_j 度量,即: $C_j = P_A P_B P_C$,式中: P_A 为侦察设备截获导引头信号的概率; P_B 为干扰机模拟导引头信号参数的概率; P_C 为导引头不能识别干扰信号的概率。

3 仿真系统实现

在上述建模研究的基础上,设计、实现了截击空战仿真系统。仿真实验参数为:双方主战飞机同为三代机,空战兵器为第四代空空导弹。进攻方由2架主战飞机、2架无人机、1架电子战飞机、1架空中加油机组成空中联合编队,航向为防御方领空方向;防御方空中联合编队配置与进攻方基本相同,没有加油机,遂行国土防空截击任务。仿真运行中战场二维态势见图5。

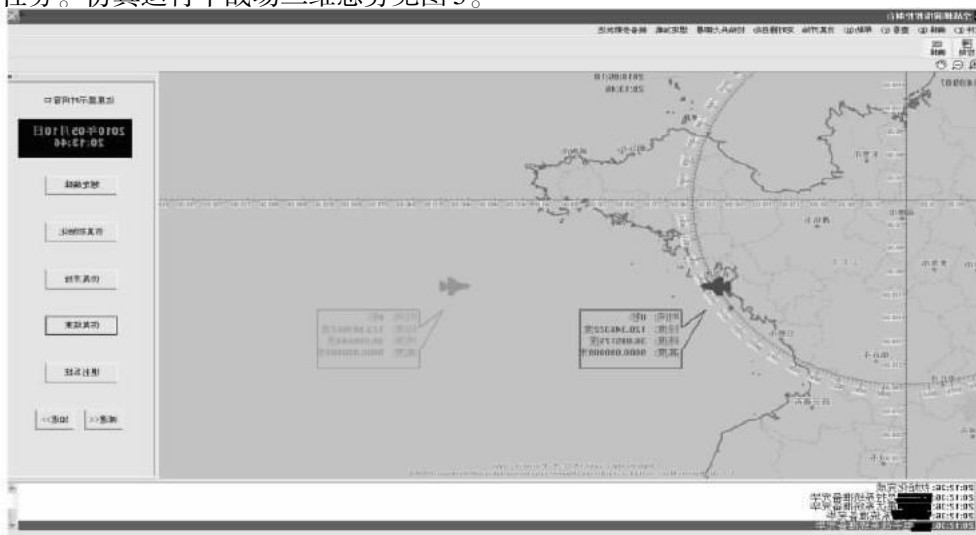


图5 截击空战仿真态势图

Fig.5 State diagram of volleying air combat simulation

由仿真结果表1可知,在导弹末制导阶段,综合使用多种干扰样式是提高干扰效果的有效途径。

表1 仿真结果对比

Tab.1 The compare of simulation results

作战阶段	导弹末制导对抗				
干扰样式	噪声调频; 箔条干扰	噪声调幅; 箔条干扰	噪声调频;速度拖引; 两点源干扰	噪声调频; 复合干扰;	噪声调频;角度拖引; 无人机假目标
干扰效果	无效	无效	有效	有效	有效

4 结束语

本文以UML为建模工具对信息化战争中截击空战进行了全面的解析,重点突出了电子对抗建模,在此基础上设计了仿真系统。对作战实体进行合理的抽象既是建模的难点,又是提高模型效率和逼真度的关键。仿真实验验证了航空电子对抗战术使用准则,能提高飞行员电子对抗作战训练水平。建模思路和方法对现

代空战建模具有参考价值。

参考文献(References):

- [1] 罗开平,李一军,姜维. 基于 UML 的弹道导弹预警仿真系统建模[J]. 系统仿真学报,2010,22(4):845-849.
LUO Kaiping, LI Yijun, JIANG Wei. Research on modeling ballistic missile early warning simulation system based on UML [J]. Journal of system simulation, 2010, 22(4):845-849. (in Chinese)
- [2] 罗小明. 弹道导弹攻防对抗的建模与仿真[M]. 北京:国防工业出版社,2009.
LUO Xiaoming. Attack-defense counterwork modeling and simulation of ballistic missile[M]. Beijing: National defense industry press, 2009. (in Chinese)
- [3] DMSO. Modeling and simulation(M&S) master plan[R]. Washington: Department of defense, 1995.
- [4] Li X R, Jilkov V P. Survey of maneuvering target tracking - part V: multiple-model methods [J]. IEEE transactions on aerospace and electronic system, 2005, 41(4):1255-1321.
- [5] Li X R, Jilkov V P. Survey of maneuvering target tracking - part I: dynamic models [J]. IEEE transactions on aerospace and electronic system, 2003, 39(4):1333-1364.
- [6] 齐照辉,王祖尧,张为华,等. 基于 UML 的导弹攻防仿真系统设计与实现[J]. 系统仿真学报,2006,18(13):602-606.
QI Zhaohui, WANG Zuyao, ZHANG Weihua, et al. Design and implication of attack and defense simulation system for ballistic missile with UML [J]. Journal of system simulation, 2006, 18(13):602-606. (in Chinese)
- [7] 王凤山,张启义. 基于 UML 的破障作战行动建模研究[J]. 系统仿真学报,2009,21(13):3864-3866.
WANG Fengshan, ZHANG Qiyi. Research of obviating operation modeling based on UML [J]. Journal of system simulation, 2009, 21(13):3864-3866. (in Chinese)
- [8] 高彬,毛士艺,孙进平. 拖曳式诱饵抗单脉冲雷达导引头效能评估[J]. 系统工程与电子技术,2010,32(11):2394-2397.
GAO Bin, MAO Shiyi, SUN Jinping. Effects of towed-decoys against antiaircraft missile with monopulse seeker [J]. Systems engineering and electronics, 2010, 32(11):2394-2397. (in Chinese)
- [9] 高彬,韩轲. 机载自卫闪烁干扰作战效能评估[J]. 北京航空航天大学学报,2008,34(9):1101-1104.
GAO Bin, HAN Ke. Measures of effectiveness for blinking jamming under airborne self-protection operations [J]. Journal of Beijing university of aeronautics and astronautics, 2008, 34(9):1101-1104. (in Chinese)
- [10] 高静. 主动雷达导引头抗干扰性能评估[J]. 航空兵器,2004,4:16-18.
GAO Jing. ECCM Capacity evaluation of active radar seeker [J]. Aero weaponry, 2004, 4:16-18. (in Chinese)

(编辑:徐敏)

Modeling and Simulation of Volleying Air Combat under Electronic Support Based on UML

GUO Jun-jie^{1,2}, WANG Xing-hua¹, WANG Xing¹, CHENG Si-yi¹, ZHANG Wen-xia², ZHAO Ya-jin³
(1. School of Aeronautics and Astronautics Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Unit 93987, Xining 810007, China; 3. The Informatization Department of Beijing Military Area Air Force Headquarters, Beijing 100061, China)

Abstract: The key problems of volleying air combat simulation under electronic support are researched against the new combat modes and objects in future air combat. The air combined formation consisting of fighters, unmanned aircraft and electronic warfare planes is the main study object. With object-oriented technology involved, the use case diagram and class diagram of UML are used to analyze the static function structure of volleying air combat and the interactive model, activity transition model are established through the sequence diagram and activity diagram. The combat flow is explained systematically. Meanwhile, the modeling of electronic countermeasures is just the point. Finally, a simulation system of volleying air combat is realized. Simulation experiment shows that this simulation system can provide the experiment platform for combating efficiency evaluation of aviation electronic countermeasures system.

Key words: volleying air combat; electronic countermeasures; modeling and simulation; UML