

7-3-2020

Design on Parallel Simulation System for Radar/IR Dual Mode Compound Guidance

Shiming Zhao

No.91336 Troop of PLA, Qinhuangdao 066000, China;

Zhiyue Sun

No.91336 Troop of PLA, Qinhuangdao 066000, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Design on Parallel Simulation System for Radar/IR Dual Mode Compound Guidance

Abstract

Abstract: Aiming at simulation test requirement for Radar/IR dual mode compound guidance seeker, *the HWIL simulation system for dual mode compound guidance based on parallel simulation was designed in detail, the key technology design was studied mainly, which consists of control mode and control relation, compound guidance information fusion and decision-making design, and parallel simulation Space and Time Consistency.* The simulation model of parallel simulation system, missile attitude motion error model and target space error model were built for the Space and Time Consistency analysis. The simulation results show that simulation test and evaluation application requirement is satiable, and feasibility of dual mode compound guidance simulation system design is validated.

Keywords

compound guidance, information fusion, Space and Time Consistency

Recommended Citation

Zhao Shiming, Sun Zhiyue. Design on Parallel Simulation System for Radar/IR Dual Mode Compound Guidance[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(5): 1094-1099.

雷达/红外双模复合制导并行仿真系统设计

赵世明, 孙致月

(中国人民解放军 91336 部队, 河北 秦皇岛 066000)

摘要: 针对雷达/红外双模复合制导导引头仿真试验需求, 详细设计了基于并行仿真的双模复合制导半实物仿真系统, 重点研究了并行仿真系统控制模式和控制关系、复合制导信号融合和决策设计, 以及并行仿真时空一致性分析。为定量分析并行仿真时空一致性, 建立了双模复合制导并行仿真系统仿真模型、导弹姿态运动误差模型和目标空间误差模型, 仿真分析表明, 并行仿真系统时空一致性可满足复合制导仿真试验与评估应用需求, 验证了双模复合制导仿真系统设计的有效性。

关键词: 复合制导; 信息融合; 时空一致性

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X(2016)05-1094-06

Design on Parallel Simulation System for Radar/IR Dual Mode Compound Guidance

Zhao Shiming, Sun Zhiyue

(No.91336 Troop of PLA, Qinhuangdao 066000, China)

Abstract: Aiming at simulation test requirement for Radar/IR dual mode compound guidance seeker, the HWIL simulation system for dual mode compound guidance based on parallel simulation was designed in detail, the key technology design was studied mainly, which consists of control mode and control relation, compound guidance information fusion and decision-making design, and parallel simulation Space and Time Consistency. The simulation model of parallel simulation system, missile attitude motion error model and target space error model were built for the Space and Time Consistency analysis. The simulation results show that simulation test and evaluation application requirement is satiable, and feasibility of dual mode compound guidance simulation system design is validated.

Keywords: compound guidance; information fusion; Space and Time Consistency

引言

随着制导技术的飞速发展, 雷达/红外复合制导导弹以其出色的抗干扰和突防能力, 越来越受到国内外重视。半实物仿真是检验导弹武器系统作战能力的重要手段, 目前基于射频或红外的单模制导半实物仿真技术研究和系统建设已经成

熟, 而针对复合制导的仿真技术需要进一步研究, 以适应试验与评估需求。

美国 20 世纪 80 年代已开始雷达/红外复合制导半实物仿真系统的研究, 比较著名的研究机构有陆军航空和导弹司令部高级仿真中心、埃格林空军基地空军研制开发实验中心等, 技术方案经历了雷达天线内安装微型红外辐射源、雷达与红外波束组合、雷达紧缩场加五轴转台等几个发展阶段^[1]。国内研究起步较晚, 近年来已有相关文献和系统建设成果, 目标模拟技术研究侧重于双波束组合器, 但由于该技术和工艺不成熟, 与现实应用需求有较大差距; 文献[2]提出基于射频仿



收稿日期: 2015-06-08 修回日期: 2015-07-30;
作者简介: 赵世明(1978-), 男, 山西平遥, 硕士, 工程师, 研究方向为精确制导半实物仿真; 孙致月(1984-), 男, 甘肃永昌, 硕士, 工程师, 研究方向为精确制导半实物仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 1094 •

真实验室与红外仿真实验室“并行联网”技术的双模制导半实物仿真方法, 利用现有射频仿真实验室和红外仿真实验室条件, 应用并行仿真来验证双模导引头对目标的跟踪和交班性能^[2]。

针对雷达/红外双模复合制导抗干扰能力试验评估需求, 雷达制导和红外制导半实物仿真系统并行仿真方案可保证组合模拟目标信号的逼真度且仿真试验设施可得到充分利用。首先分析了复合制导半实物并行仿真技术特点和优势, 而后对复合制导半实物并行仿真系统进行了总体设计, 最后详细分析研究了系统控制模式, 复合制导信息融合处理, 以及时空一致性设计等。

1 复合制导并行仿真特点分析

复合制导半实物并行仿真技术的应用主要基于以下几方面: 一是雷达/红外目标信号源问题, 单独的射频信号生成和红外信号生成技术已经成熟, 而用于信号空间合成的波束组合器其材质和工艺存在技术瓶颈, 导致射频信号和红外信号产生畸变, 影响合成信号特性和仿真试验总体效果; 二是波束组合器尺寸局限性, 半实物仿真要求波束组合器随动复合导引头姿态角变化以满足导引头搜索和跟踪视场, 而随动系统存在设计难度较大及射频

目标回波多路径影响^[3]。基于并行仿真的复合制导半实物仿真系统是将分属不同实验室的两个导弹制导仿真系统并行联网和同步仿真, 能够克服上述不足并具有以下几方面技术特点。

一是两个仿真回路并行仿真, 其信号模拟和空间传输互不干扰和影响, 保证了雷达目标回波信号与红外目标投射信号的空间传输特性和目标信号逼真度;

二是除硬件方面要求提供实时网和以太网网络通信接口, 以及软件方面提供并行仿真试验模式和控制策略以外, 并无其他改造和建设投入, 减低系统建设和建设难度, 并保持原有仿真系统功能完整性;

三是并行仿真试验模式的拓展, 提高了系统试验能力, 拓宽了系统使命内涵, 仿真系统使用率得以提高, 具有很好的经济效益和应用价值。

2 复合制导并行仿真系统设计

2.1 并行仿真系统总体设计

基于“并行联网”的设计方法使分属不同实验室的两个制导仿真系统互联互通且并行工作, 雷达/红外成像复合制导半实物并行仿真系统总体设计框架如图 1 所示。

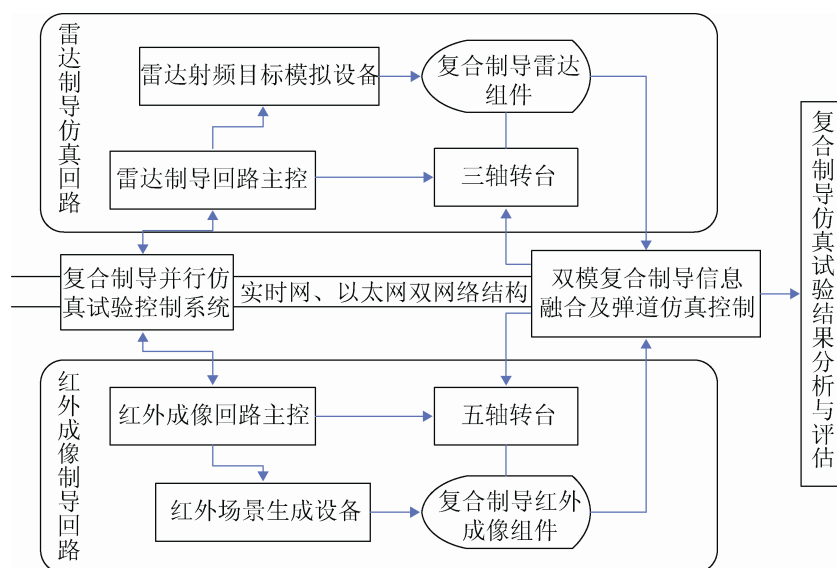


图 1 双模复合制导并行仿真系统总体结构

雷达制导仿真回路在射频仿真实验室内利用雷达射频目标模拟设备采用射频阵列和空间辐射方式模拟生成高逼真度的雷达目标回波信号和射频干扰信号,三轴转台承载复合制导雷达导引头组件;红外成像制导仿真回路在光电暗室内利用红外场景生成设备采用红外视景仿真和热图像投射方式模拟生成动态红外场景,五轴转台承载复合制导红外导引头组件和红外场景生成设备;

复合制导并行仿真试验控制系统完成整个并行仿真系统试验控制和资源管理,包括试验方案生成和态势编辑与设置、复合制导仿真试验模式控制、试验信息实时显示和辅助分析处理,以及系统工作状态实时检测和故障诊断等;

双模复合制导信息融合模块将雷达导引头组件和红外成像导引头组件输出的目标误差信息和状态信息进行信息融合和复合策略控制;弹道仿真和控制模块将根据目标误差信息进行弹道仿真模型实时解算,解算结果分别控制导弹姿态模拟设备和目标模拟设备使复现弹目交会过程,同时完成并行仿真系统时钟同步性和工作协调性控制,使整个系统形成闭环仿真试验回路;

复合制导仿真试验结果分析与评估模块完成

复合制导跟踪性能和抗干扰能力的分析与评估;并行仿真系统基于实时网和以太网双网络体系结构,以太网实现试验流程控制信息通信及仿真试验数据和信息的资源共享,实时网络完成仿真试验数据和系统控制信息的实时传输。

2.2 并行仿真试验控制模式设计

复合制导并行仿真控制设计将摒弃复杂系统多级控制模式,通过系统总体设计和控制信息流设定,系统控制采用单层控制模式,减小多级控制所带来的网络通信和数据处理时间延迟,降低系统设计复杂性,但带来原有控制软件修改难度和工作量。系统控制关系设计框架如图 2 所示。

具体设计内容包括:一是并行仿真试验控制层设计,复合制导并行仿真控制层将单独设计复合制导试验控制系统,直接控制两个回路各节点设备;二是制定统一的并行仿真接口通信协议、实时网卡节点标识号和内存空间分配;三是雷达制导仿真回路弹道仿真机作为并行仿真系统弹道解算机,其它节点在弹道仿真机仿真时钟和同步指令控制下同步协调工作,同步性控制和仿真时钟递进采用实时网络中断触发机制。

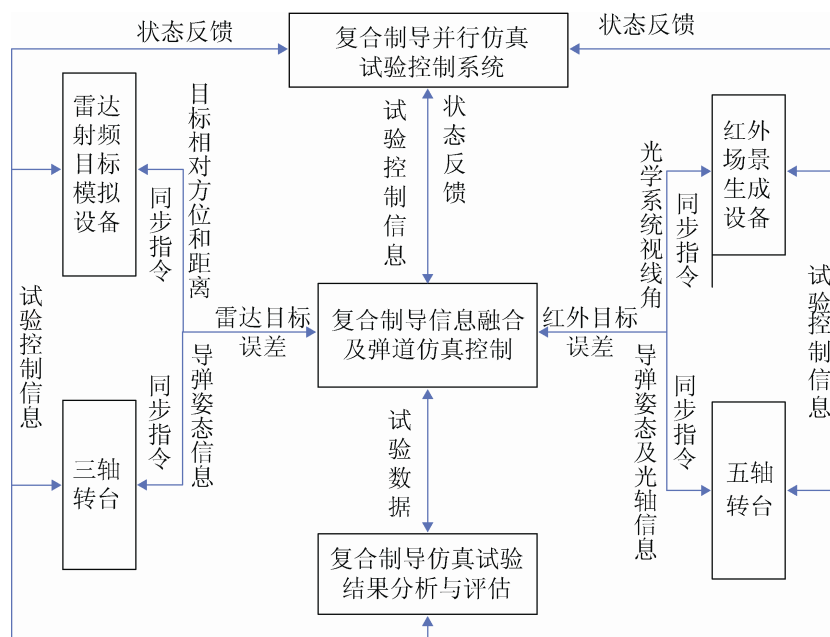


图 2 双模复合制导并行仿真系统控制关系

2.3 双模复合制导信息融合设计

雷达/红外双模复合制导信息融合模块实现多传感器信息融合,接收雷达导引头组件和红外导引头组件上报的目标误差信息,进行时空校准,航迹关联与融合处理,依据目标选择策略完成干扰剔除和目标选择,控制雷达和红外导引头组件工作状态和流程。雷达/红外双模复合制导信息融合设计如图 3 所示。

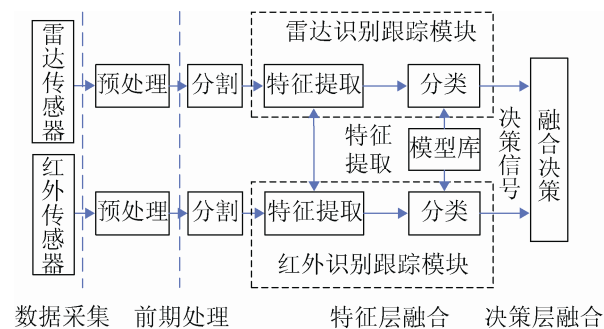


图 3 双模复合制导信息融合模块设计框架

雷达/红外双模复合制导信息融合采用决策层融合兼顾特征层融合的融合方案,复合制导特征层融合体现于雷达导引头组件对红外导引头组件光轴系统方向引导,弥补雷达探测精度低、红外探测距离短的不足;决策层体现于在存在干扰条件下雷达和红外导引头组件的抗干扰互补性,提高复合制导抗干扰和突防能力^[4]。当其中一个传感器模块因干扰作用失去跟踪目标能力时,可根据另一传感器模块跟踪信息矫正该受干扰传感器模块的目标跟踪能力,从而提高整个双模复合导引头系统的抗干扰性能以及目标识别跟踪系统的可靠性。

3 并行仿真时空一致性分析

3.1 时空一致性影响因素分析

半实物仿真系统之间的结构差异性必然带来时空一致性问题,是复合制导并行仿真系统设计所面临的主要技术难点。根据分析研究,复合制导并行仿真时空一致性主要影响因素:

时间延迟不一致性,分布式仿真由于存在信号

处理和多级计算差异,地域位置差异,必然具有数据处理和信号传输延时,该延时必将带来参数理解 and 数据处理上的差异。

姿态模拟时空不一致,复合制导并行仿真要求两个制导实验室同步模拟导弹飞行姿态。姿态控制信息传输延迟、坐标变换及姿态模拟设备动静态特性不同将带来姿态模拟不同步。

目标模拟时空不一致,并行仿真试验模式要求同步模拟弹目相对方位和距离,目标模拟空间描述和处理方法一致。位置控制和目标模拟起伏特性会带来目标模拟的时空不一致,影响仿真试验精度^[5]。

3.2 并行仿真系统仿真模型设计

构建并行仿真系统仿真模型,在该仿真模型中通过参数时间延迟以及导弹姿态运动和目标模拟误差模型引入时空不一致性,

3.2.1 导弹控制参数时间延迟

人为设置雷达制导回路航向控制信号传输延时来引入时间不一致,并将导致导弹脱靶量偏差。根据仿真结果分析,导弹脱靶量偏差随航向控制信号时间延迟增大而增加,反舰类导弹仿真试验要求脱靶量偏差控制在米级,仿真结果表明,并行仿真时间不一致性可容忍值约为 40 ms。现实中半实物仿真信息传输时间延迟可控制在毫秒内,控制参数传输延迟带来的时空不一致并不影响导引头信息融合对目标一致性判别。

3.2.2 导弹姿态模拟仿真模型设计

转台各轴系用二阶系统进行描述,通过调整系统参数实现对转台的精确表达,二阶系统传递函数为:

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

式中, ω_n 为自然频率, ζ 为阻尼比, ω_n 由转台双十指标频率 ω_s 确定,根据转台双十指标频率 ω_s 及阻尼比 ζ 即可建立满足频响要求的二阶环节转台运动模型^[6]。

3.2.3 导弹姿态和目标运动误差模型设计

转台运动误差主要包括回转误差和静态误差，回转误差包括倾角回转误差、径向回转误差、回转精度等；静态误差主要指同轴度、轴线相交度、垂直度等。转台误差对系统影响采用导引头指向误差和位置偏移两项指标衡量，根据多体运动学理论建立不同结构转台误差传递模型，且指向误差在姿态角方向进行分解的误差为：

$$\begin{cases} \Delta\varphi = \varphi_{act} - \varphi_{ideal} = -\arctan \frac{B_{31}}{B_{11}} - \varphi_{ideal} \\ \Delta\theta = \theta_{act} - \theta_{ideal} = \arctan \frac{B_{21}}{\sqrt{B_{11}^2 + B_{31}^2}} - \theta_{ideal} \\ \Delta\gamma = \gamma_{act} - \gamma_{ideal} = -\arcsin \frac{B_{23}}{\sqrt{B_{11}^2 + B_{31}^2}} - \gamma_{ideal} \end{cases} \quad (2)$$

位置误差为：

$$e = T \cdot [t^T, 1]^T - T_{ideal} \cdot [t^T, 1]^T \quad (3)$$

其中，矩阵元素 $B_{ij}(i, j=1,2,3)$ 描述了转台误差对导引头空间指向角度的影响， φ_{act} 、 θ_{act} 、 γ_{act} 分别为转台实际姿态角， φ_{ideal} 、 θ_{ideal} 、 γ_{ideal} 为理想姿态角， t 为导引头中心上一点坐标， T 为转台空间误差传递矩阵， T_{ideal} 为理想运动传递矩阵。

目标模拟空间误差主要影响导弹和目标的空间角位置关系，产生附加的空间指向误差和位置误差，与转台运动误差对半实物仿真试验的影响机理相同，将两者影响统一用导引头等效指向误差 Δ_{equ} 和等效位置误差 e_{equ} 表示。

在 MATLAB/Simulink 环境下构建并行仿真系统仿真模型，总体结构如图 4 所示，依据时空不一致对导弹脱靶量的影响程度定量分析并行仿真的时空一致性。

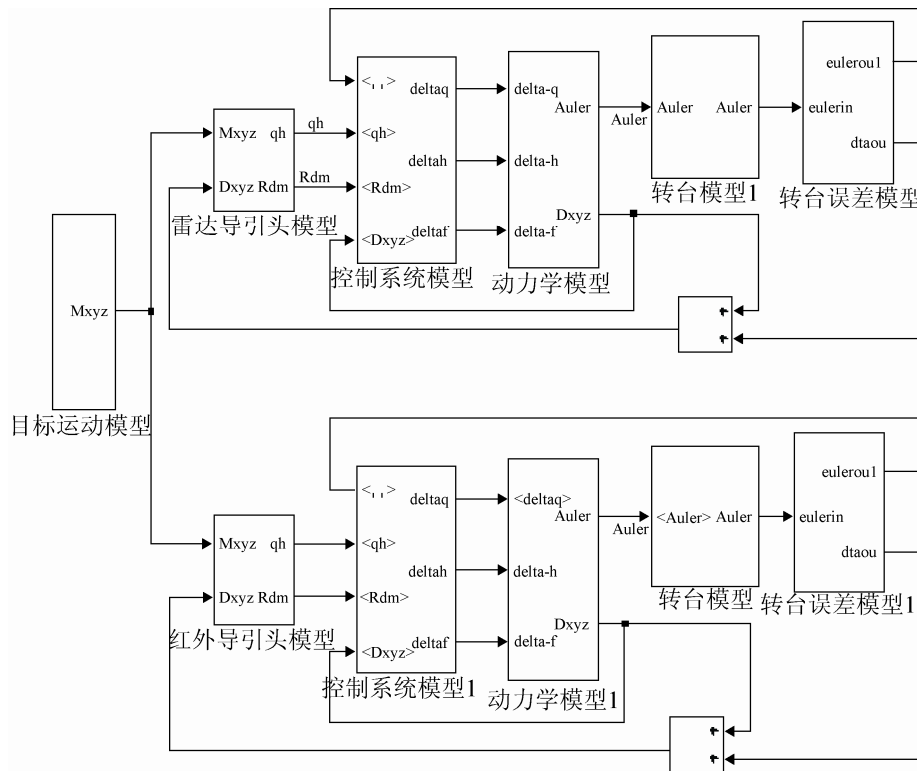


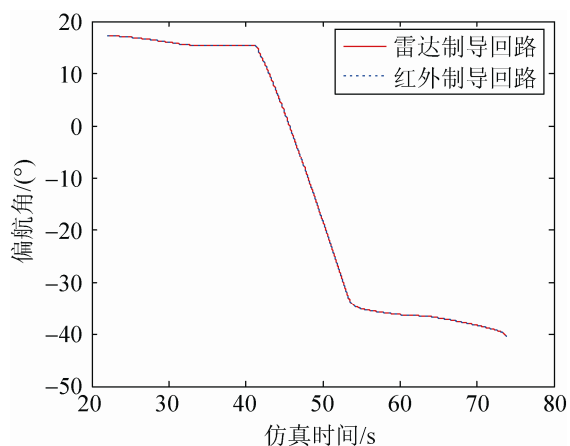
图 4 双模复合制导并行仿真模型结构图

3.3 时空一致性仿真实验

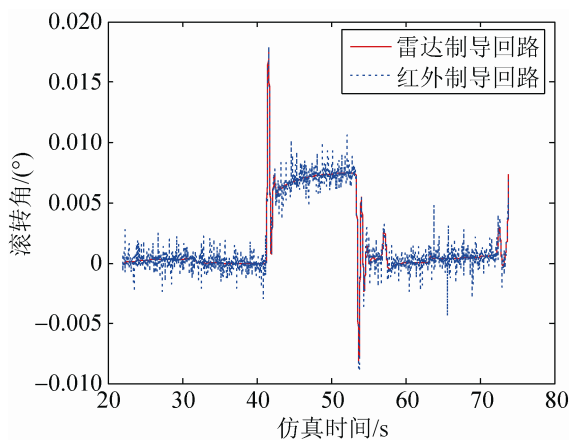
调整转台轴线垂直度误差改变等效指向误差 Δ_{equ} ，调整转台轴线相交度改变等效位置误差 e_{equ} 。

根据公式(3)计算，雷达制导回路指向误差为 Δ_{equ} ： $\Delta\varphi=45.28''$ ， $\Delta\theta=47.08''$ ， $\Delta\gamma=45.09''$ ，红外制导回路指向误差 $\Delta\varphi=31.13''$ ， $\Delta\theta=31.37''$ ， $\Delta\gamma=30.18''$ 。根据

并行仿真模型运算, 导弹俯仰偏差均值 $\Delta\theta_{AB}=15.92''$, 航向偏差均值 $\Delta\phi_{AB}=21.77''$, 图 5 为雷达、红外制导回路仿真试验过程中姿态角对比曲线, 当红外导引头在距离目标 10 km 内工作时, 两回路脱靶量偏差距离 $\Delta S < 0.5$ m, 最大空间不一致度 $\Delta S_{\max} = \max(\Delta S) > 1$ m, 不影响雷达/红外复合导引头信息融合的目标一致性判别。



(a) 导弹偏航角对比



(b) 导弹滚转角对比

图 5 并行系统导弹仿真姿态角对比曲线 ΔS_{\max}

保持雷达、红外制导回路等效指向误差 Δe_{equ} 不变, 改变红外制导回路等效位置误差 e_{equ} , 仿真结果显示 e_{equ} 改变时脱靶量偏差及 ΔS_{\max} 值变化极

小, 表明等效位置误差不影响空间一致性, 等效位置误差相对弹目距离是极小值, 对导弹目标视线角影响很小。

4 结论

针对复合制导仿真试验需求, 设计了基于并行联网技术的复合制导半实物仿真系统, 研究了并行仿真系统控制模式和同步性控制以及复合制导信息融合设计方法, 详细分析了并行仿真时空一致性问题, 仿真分析表明, 并行仿真系统时空一致性并不影响复合制导信息融合对目标一致性的判别, 验证了并行仿真系统设计有效性。复合制导并行仿真系统具有设计难度低、建设投入小、组合信号模拟逼真度高等优势, 可开展单模和双模制导导引头半实物仿真试验, 联合仿真试验应用, 复合制导信息融合和控制策略算法研究工作。

参考文献:

- [1] 宗志园, 许戎戎, 施凌飞, 等. 毫米波/红外复合制导半实物仿真关键技术研究 [J]. 航天控制, 2009, 27(6): 71-74.
- [2] 汪朝群. 关于射频与红外复合寻的制导系统的半实物仿真技术 [J]. 航天控制, 2005, 23(1): 76-78.
- [3] 许戎戎, 宗志园, 吴文, 等. 用于毫米波/红外复合制导的分形 FSS 设计与研制 [J]. 红外与激光工程, 2007, 36(增 1): 54-56.
- [4] 章蕾, 高志峰. 红外成像/毫米波雷达复合导引头制导策略研究 [J]. 激光与红外, 2010, 40(4): 394-396.
- [5] 魏太林, 钱占进, 欧阳中辉. 时空一致性对武器系统仿真试验影响的分析 [J]. 海军航空工程学院学报, 2008, 23(4): 387-394.
- [6] 王小虎, 张明廉, 杨新. 红外成像自寻的导弹半实物仿真系统数学模型 [J]. 系统仿真学报, 2000, 12(3): 214-218.