

12-13-2019

## Design of Combat Simulation and Visualization System of Hypersonic Vehicle

Yu Ying

*Science and Technology on Space Physics Laboratory, Beijing 100076, China;*

Weidong Liang

*Science and Technology on Space Physics Laboratory, Beijing 100076, China;*

Xiujuan Zhu

*Science and Technology on Space Physics Laboratory, Beijing 100076, China;*

Jianlin Wang

*Science and Technology on Space Physics Laboratory, Beijing 100076, China;*

*See next page for additional authors*

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 of Combat Simulation and Visualization System of Hypersonic Vehicle

## Abstract

**Abstract:** Based on the thought of combat simulation, the system of combat simulation and visualization is designed to show the typical combat mode and the characteristics of near space vehicles. Taking the aircraft attacking a fixed target as an example, the formulation of combat plan, the deployment of forces and the design of combat process of both sides are realized. *On the one hand, a combat simulation platform which covers various combat modes of attack and defense is established. On the other hand, the whole process of combat confrontation of hypersonic vehicles is presented, driven by the real-time simulation data.* For further evaluating the combat capability of the near space vehicles, the analysis method and simulation means are proposed in this paper.

## Keywords

combat simulation, simulation platform, visual deduction

## Authors

Yu Ying, Weidong Liang, Xiujuan Zhu, Jianlin Wang, and Wang Ling

## Recommended Citation

Yu Ying, Liang Weidong, Zhu Xiujuan, Wang Jianlin, Wang Ling. Design of Combat Simulation and Visualization System of Hypersonic Vehicle[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(12): 2584-2590.

# 临近空间飞行器作战对抗仿真与推演系统设计

于盈, 梁伟栋, 朱秀娟, 王建林, 王玲

(空间物理重点实验室, 北京 100076)

**摘要:** 基于作战仿真的思路, 针对临近空间飞行器的作战特点和典型作战模式, 开展了作战对抗仿真与推演系统设计, 以飞行器攻击某固定目标为例, 实现了攻防双方作战方案的制定、兵力的部署和作战流程设计。在上述基础上, 一方面搭建了涵盖攻防双方多种作战元素在内的作战对抗仿真平台, 一方面以可视化的手段通过作战仿真数据实时驱动的方式直观展现临近空间飞行器作战对抗的全过程, 为进一步衡量临近空间飞行器突防能力、攻击目标能力等作战能力提供分析方法与仿真手段。

**关键词:** 作战仿真; 仿真平台; 可视化推演

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 12-2584-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-FZ0349

## Design of Combat Simulation and Visualization System of Hypersonic Vehicle

Yu Ying, Liang Weidong, Zhu Xiujuan, Wang Jianlin, Wang Ling

(Science and Technology on Space Physics Laboratory, Beijing 100076, China)

**Abstract:** Based on the thought of combat simulation, the system of combat simulation and visualization is designed to show the typical combat mode and the characteristics of near space vehicles. Taking the aircraft attacking a fixed target as an example, the formulation of combat plan, the deployment of forces and the design of combat process of both sides are realized. *On the one hand, a combat simulation platform which covers various combat modes of attack and defense is established. On the other hand, the whole process of combat confrontation of hypersonic vehicles is presented, driven by the real-time simulation data.* For further evaluating the combat capability of the near space vehicles, the analysis method and simulation means are proposed in this paper.

**Keywords:** combat simulation; simulation platform; visual deduction

## 引言

作战仿真作为军事问题研究的重要手段之一, 一直是国内外仿真领域关注度的热点, 其研究的主要难点在于: 仿真对象复杂, 现实世界中作战模型

的复杂性决定了仿真系统的复杂性; 涉及领域广泛, 需具备计算机软件、建模仿真、作战、指控等诸多专业背景。国外多数作战仿真系统是在作战仿真项目开发的基础上, 通过抽取共性框架并配置相应工具建立的, 如美军的 JSMIS (联合仿真系统)、JWARS (联合作战仿真系统) 以及 JMASS (联合建模与仿真系统) 三大联合系统。国内较成熟实用的商业化作战仿真平台主要有 FLAMES 和 VR-Forces。总体来说, 国外关于作战仿真系统的核心研究资料较少, 国内相关软件产品在二次开发



收稿日期: 2019-06-22 修回日期: 2019-07-19;  
基金项目: 国家自然科学基金(61773068);  
作者简介: 于盈(1990-), 女, 江苏泰兴, 硕士, 工程师, 研究方向为系统仿真建模; 梁伟栋(1992-), 男, 宁夏吴忠, 硕士, 工程师, 研究方向为系统仿真建模; 朱秀娟(1984-), 女, 山东曲阜, 硕士, 高工, 研究方向为可视化建模与仿真。

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

• 2584 •

方面还存在一定不足。

临近空间飞行器具有飞行速度快、航程远、机动性及生存能力强的特点, 在实战中能够实现远程快速到达、高速精确打击, 鉴于其弹道的难以预测性, 其突防能力成为整个武器系统最重要的核心技术指标之一, 为进一步衡量该指标, 评估武器系统的作战效能, 本文在相关项目和应用背景的支撑下, 基于作战仿真的思路, 开展了临近空间飞行器作战对抗仿真与推演系统研究, 通过作战仿真数据实时驱动的方式直观展现临近空间飞行器作战对抗的全过程。

## 1 系统架构设计

临近空间飞行器作战对抗仿真与推演系统总体框架如图 1 所示。

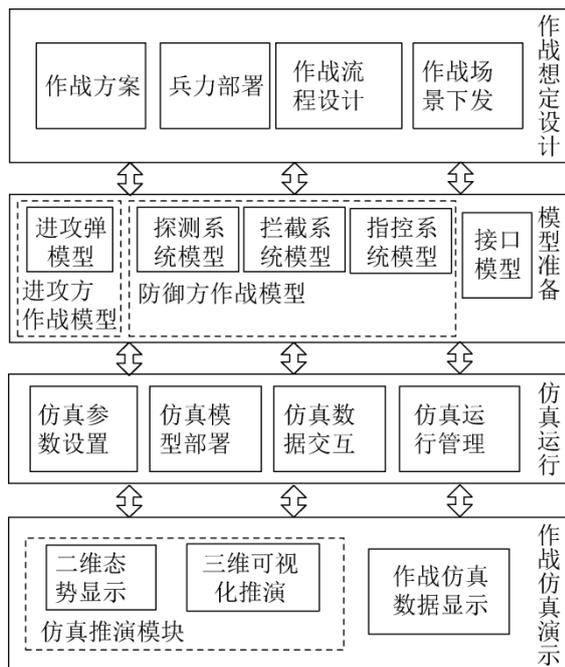


图 1 系统总体框架

Fig. 1 Overall framework of the system

主要包括 4 部分内容: (1) 作战想定设计, 主要包括作战方案设计、攻防双方兵力的部署、作战流程的设计以及作战场景下发, 明确攻防双方参战实体类型, 为后续仿真建模工作奠定基础; (2) 仿真模型准备, 主要包括攻防双方作战模型的建模以

及各实体模型间接口模型的研制, 其中进攻方作战模型主要为临近空间飞行器进攻弹模型, 防御方作战模型主要包括卫星、雷达探测系统模型、拦截系统探测模型以及指控系统模型; (3) 仿真运行, 主要包括仿真参数设置、仿真模型部署、仿真数据交互以及仿真运行管理, 实现对作战仿真运行过程的控制; (4) 作战仿真演示, 通过获取在作战仿真运行过程中产生的各种试验数据, 实现作战仿真可视化展示, 主要包括仿真推演模块和作战仿真数据显示模块, 其中仿真推演模块又包括二维态势显示和三维可视化推演, 仿真数据显示模块则是通过曲线、图表的形式对参战模型的相关关键参数(如高度、速度、姿态角等)进行显示。

## 2 作战想定设计

### 2.1 作战方案设计

作战方案设计主要针对临近空间飞行器的作战任务, 结合其战术指标等作战特点开展飞行器突防环境分析, 明确其在打击目标过程中各个飞行阶段面临的探测识别威胁以及拦截威胁, 其中探测识别威胁主要来自预警卫星、预警雷达系统, 拦截威胁主要来自防空反导系统等。

### 2.2 作战兵力部署

作战兵力部署主要是明确攻防双方的火力单元配置以及防御方防御探测系统组成。以临近空间飞行器攻击某固定目标为例, 攻防双方兵力部署如表 1 所示。

表 1 攻防双方兵力部署  
Tab. 1 Force deployment of both attack and defense

类别	名称	数量	位置
进攻方	进攻弹	临近空间导弹	1 枚 -
	预警探测系统	高轨卫星	多颗 -
		低轨卫星	多颗 -
防御方	预警雷达	多部	-
	拦截系统	远程拦截导弹	1 枚 -
		末端拦截导弹 A	1 枚 -
		末端拦截导弹 B	1 枚 -
	指控系统	指挥控制系统	1 -

### 2.3 作战流程设计

以上述临近空间飞行器攻击某固定目标的兵力部署为例，开展作战流程设计，作战流程图见图 2。

作战流程可以描述为：

- 1) 进攻弹发射；
- 2) 防御方预警卫星发现目标，传送信息给指控系统；
- 3) 指控系统发送指示信息给预警雷达系统，系统开始探测，发现目标传送信息给指控系统；
- 4) 指控系统综合判断远程拦截导弹是否可拦截目标，若可拦截，则向远程拦截导弹下达作战命令；
- 5) 继续探测跟踪目标，进行发射决策，发射

远程拦截导弹拦截目标，拦截结果传送给指挥系统，如果拦截成功，对抗过程结束；

- 6) 探测系统继续工作，继续探测、跟踪进攻弹目标，并将目标信息发送给指控系统；

7) 指控系统综合判断下达作战命令给导弹 A 拦截系统，拦截系统探测跟踪目标、发射决策、发射拦截导弹拦截目标，拦截结果传送给指挥系统，如果拦截成功，对抗过程结束；

8) 指控系统下达作战命令给导弹 B 拦截系统，导弹 B 拦截系统探测跟踪目标、发射决策、发射拦截导弹，拦截结果传送给指挥系统，如果拦截成功，对抗过程结束；

- 9) 命中目标，结束对抗。

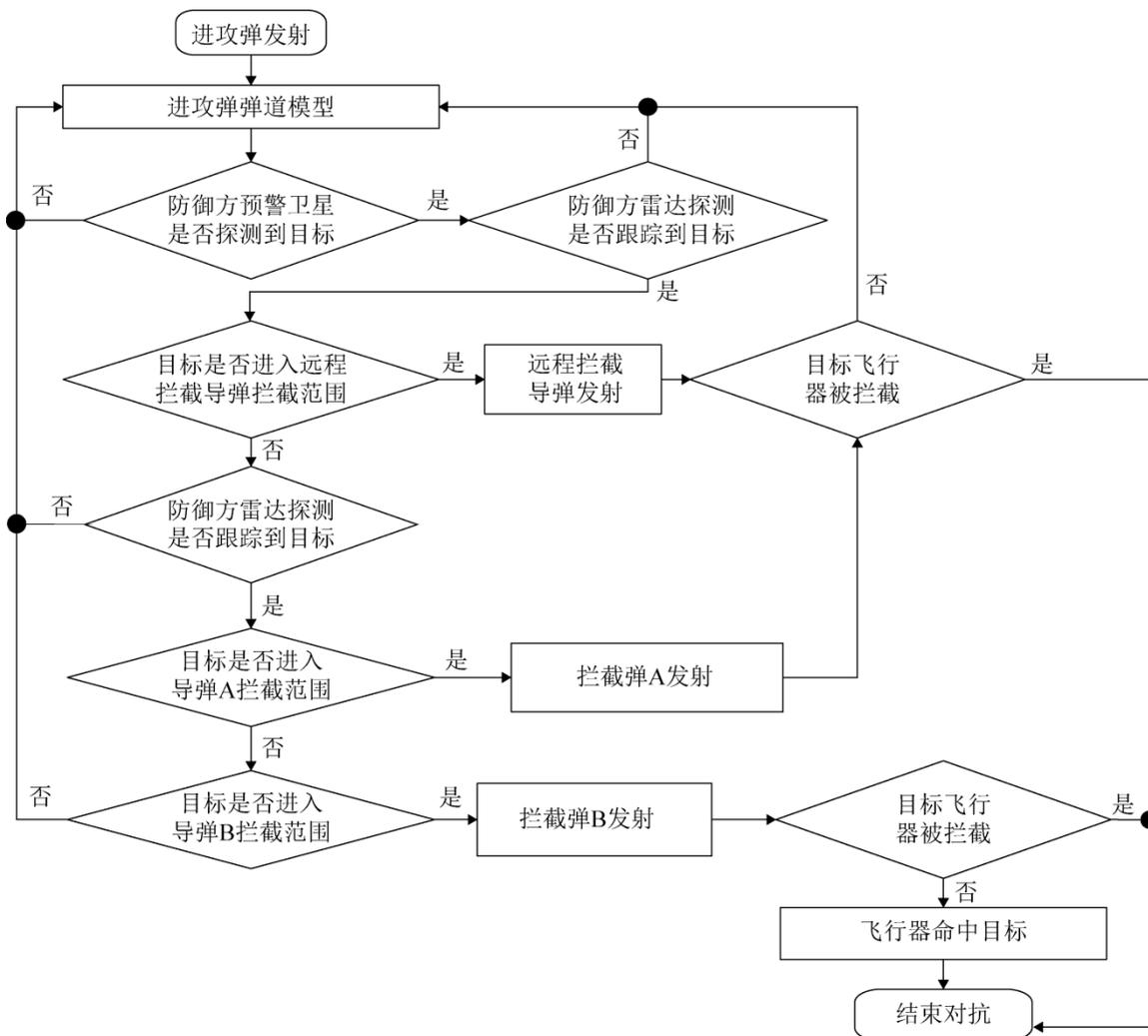


图 2 作战流程图

Fig. 2 Operation flow chart

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

### 3 作战对抗仿真平台

#### 3.1 仿真模型通用开发框架

作战仿真通用模型在开发过程中, 基于 IOCE 模型框架, 通过在模型集成开发环境下进行模型的编写和调试, 最终完成模型定型。IOCE 模型为完成仿真计算的主体, 包含输入(Input)、输出(Output)、计算(Calculate)和事件(Event), 在一定的内部或外部输入条件下, 被一定的消息所触发而产生事件响应, 根据响应进行计算并输出结果, 可表示为:  $Model(I, O, C, E)$ , 其中,  $I$  是模型的条件,  $C$  是模型的功能,  $E$  是触发  $C$  的外部激励,  $O$  是模型的结果。

为满足协同仿真需求, IOCE 模型必须实现其输入输出数据接口、计算接口和外部激励事件的调度接口。其中, 输入输出数据管理通过数据管理动态库实现, 计算接口由模型自身实现, 外部时间激励通过模型回调机制实现。模型的生命周期包括初始化、计算、退出 3 个特征过程。

##### 1) 模型接口函数

模型开发额外需 3 个 API 函数的支持, RegisterCallBack、GetDataPtr、RecordEvent 函数, 其参数、返回值及实现功能见表 2。

表 2 API 函数参数、返回值及实现功能  
Tab. 2 Parameters, return values and performance of API function

名称	参数	返回值	功能
RegisterCallBack	aProc	isSuccess	注册回调函数
GetDataPtr	psdataName ndataSize ptType	pData	根据数据名称获取数据指针
RecordEvent	sEvent	isSuccess	记录节点事件

##### 2) 回调函数框架

回调函数是模型实现功能的主函数, 在仿真运行时, 接受平台的回调控制。平台每一拍均调用模型中的此函数, 并传入 3 个参数, 分别是控制消息、

当前仿真时间和当前仿真序号。模型根据平台传入的不同的控制消息类型, 进行不同的响应处理。

回调函数声明如下。

```
ICBR=function(nMsg:integerdSimtime:double;
nTestIndex:integer)
```

##### 3) 模型初始化模板

模型初始化工作包括注册回调函数(由平台自动填入)和获取数据指针。数据指针只需获取一次, 便可在模型程序中使用。

#### 3.2 作战模型建模

分别建立进攻方进攻弹模型以及防御方探测系统、拦截系统以及指控系统模型, 各模型实现的功能如下。

##### (1) 进攻弹模型

进攻弹模型主要为临近空间飞行器弹道实时解算模型, 用于实现飞行器运动参数实时解算功能。

##### (2) 防御方卫星探测模型

卫星探测模型分为高轨卫星和低轨卫星, 主要实现以下功能。

1) 实现卫星轨道计算、大气中、长波红外辐射与传输、地球复杂背景中、长波红外特性计算、目标图像生成与信息处理功能, 获得各时刻卫星运动参数以及卫星对目标的角测量参数;

2) 实时发布卫星运动参数及对目标的角测量信息, 供卫星目标定位使用。

##### (3) 防御方雷达探测模型

雷达探测模型主要实现雷达搜索、探测与跟踪目标过程的功能级仿真, 获取雷达对目标运动参数的估测结果, 为拦截弹、制导雷达等提供预警信息。

##### (4) 防御方拦截系统模型

拦截系统由拦截弹及制导雷达组成, 其中, 制导雷达主要雷达搜索、探测与跟踪过程的功能级仿真, 获得雷达对目标运动参数的估测结果, 引导拦截弹进行制导拦截。拦截弹主要实现拦截弹拦截可

行性分析、发射诸元解算以及拦截过程的六自由度动力学仿真。

### (5) 防御方指控系统模型

指控系统模型主要实现以下功能：

1) 实现卫星、雷达等多传感器数据融合功能的仿真，获得更为精确的目标运动参数估测结果；

2) 实现目标运动参数预估功能的仿真，生成的数据文件供拦截弹发射诸元解算及初、中制导使用；

3) 实现总部级指挥控制系统仿真，包括拦截决策制定以及拦截弹作战指令下达等功能。

## 3.3 模型解算流程

在一个解算周期内，作战仿真程序中的模型解算流程如图 3 所示。

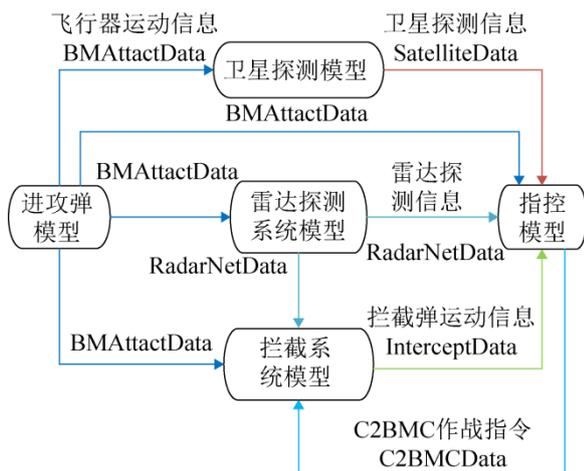


图 3 模型解算流程图

Fig. 3 Model simulation flow

(1) 由进攻弹模型进行模型解算，输出飞行器运动信息给卫星探测模型、雷达探测模型、拦截系统模型以及指控系统模型；

(2) 卫星探测模型进行模型解算输出卫星探测信息给指控模型，雷达探测模型进行模型解算输出雷达探测信息给拦截系统模型和 C2BMC 指控模型；

(3) 指控模型根据输入信息进行模型解算，输出作战指令信息给拦截系统模型；

(4) 拦截系统模型当接收到指控模型的作战指令时，开始模型解算，并将拦截弹的运动信息反馈给指控模型。

在下一个解算周期内，模型将根据卫星、雷达探测信息以及拦截弹的运动信息更新作战指令，发布给拦截系统模型。

## 4 作战可视化推演系统

临近空间飞行器的作战系统是一个非常复杂的动态过程，作战可视化系统动态演示了包括从飞行器发射、全程飞行、击中目标以及防御方探测系统发现目标、拦截决策、拦截毁伤来袭目标的全过程。作战可视化推演系统分为 2 个部分：二维态势显示系统和三维可视化推演系统。

### 4.1 二维态势显示系统

二维态势显示系统采用电子地图建立全局战场态势底图，以军标形式，采用不同的颜色显示参战方武器实体的星下点或弹下点轨迹，根据用户需要动态显示武器实体的状态信息。二维态势显示软件使用 OpenGL 结合 MFC 窗口架构开发。用户交互界面方面，采用 MFC 窗口架构。基于 MFC 生成的主程序框架负责处理用户指令以及响应主要的 Windows 消息，根据用户指令或 Windows 消息调用合适的响应函数。用户指令主要是指连接网络、读取数据以及仿真开始后对视点的控制命令等，在进行本地数据文件的事后回放时，也要考虑用户对仿真速度变化的要求，提供加速、减速、暂停方法。

### 4.2 三维可视化推演系统

三维可视化推演系统基于 Unity3D 平台研制，开发过程如图 4 所示。根据各系统所要实现的视景效果，利用交互式的参数化建模方法构建作战仿真可视化演示系统的运行场景及三维模型，结合 API 脚本和动画技术实现系统运行过程中的特效仿真以及作战双方飞行器的弹道可视化仿真、

卫星和雷达探测跟踪系统的可视化仿真。最后通过 Unity3D 强大的系统开发功能将上述内容进行开发和整合成为临近空间飞行器作战仿真可视化三维演示系统。

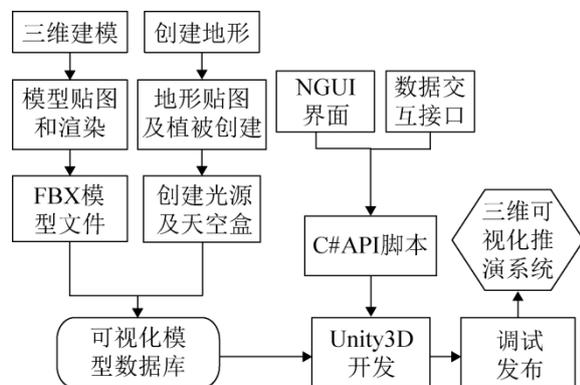


图 4 系统开发过程  
Fig. 4 System development process

三维可视化推演系统主要包括可视化模型数据库模块、作战对抗模块、特效与场景控制模块以及数据交互接口模块。

#### (1) 可视化模型数据库模块

该模块一方面包括作战双方飞行器模型、防御方探测系统(卫星、雷达)模型; 一方面主要包括地形模型、环境模型等。

#### (2) 作战对抗模块

该模块一方面包括进攻弹弹道模型、坐标转换模型等, 实时展现进攻弹各个飞行段以及部署、发射、飞行、分离、打击目标等运动过程; 一方面包括防御方拦截弹的运动模型、卫星系统的通信链路、雷达系统的探测和捕获跟踪目标模型等。

#### (3) 特效与场景控制模块

该模块一方面实现导弹发射尾焰、雷达波束、卫星扫描、爆炸等特殊效果; 一方面实现整个飞行场景中视角的变化以及对画面播放的控制以满足演示过程流畅度和对细节进行清晰显示的需求。

#### (4) 数据交互接口模块

该模块主要实现与作战仿真系统之间进行进攻弹运动参数、防御方拦截弹运动参数、探测系统参数以及仿真控制指令的数据传输功能。

## 5 运行实例

### 5.1 系统运行流程

作战对抗仿真与可视化推演系统运行流程如图 5 所示, 系统中由作战仿真程序负责运行控制, 作战可视化推演程序的运行与停止由作战仿真程序进行统一的指令调度。

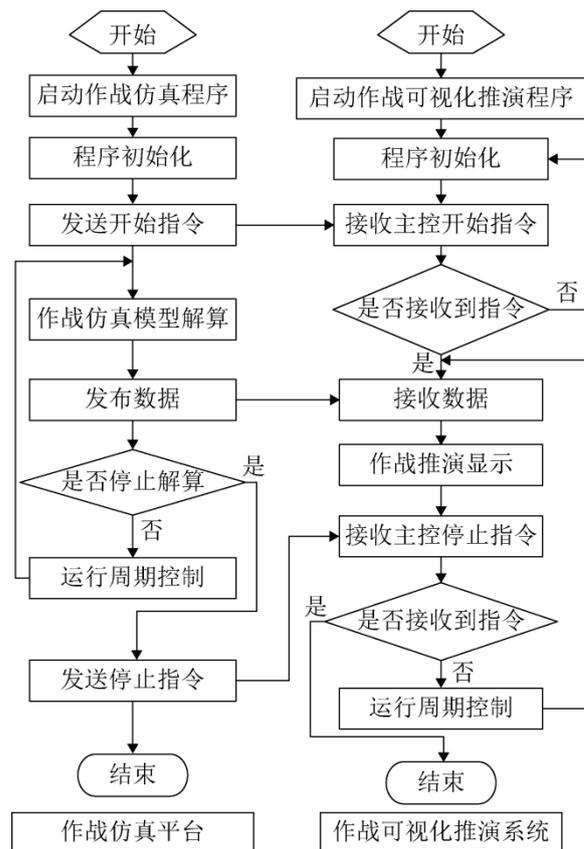


图 5 系统运行流程图  
Fig. 5 Operation process of the system

系统运行过程中, 作战仿真程序启动并初始化后, 给仿真推演可视化程序发送开始指令, 随后进入作战仿真模型解算的周期循环模式, 同时在解算过程中, 将各个作战实体模型的解算数据发布给可视化推演程序, 模型解算结束后, 向可视化推演程序发送停止指令, 结束作战仿真程序; 仿真推演可视化程序启动初始化后, 等待接收作战仿真程序发送的开始指令, 接到指令后循环接收作战仿真程序发布的数据, 进行作战推演显示, 当接收到作战仿

真程序发送的停止指令时，结束程序。

## 5.2 系统运行效果

根据上述作战想定设计，建立作战仿真模型，通过网络通信实现仿真数据实时驱动的作战过程的可视化推演，系统运行效果如图 6~8 所示。



图 6 发射场景图  
Fig. 6 Emission scenario of the vehicle

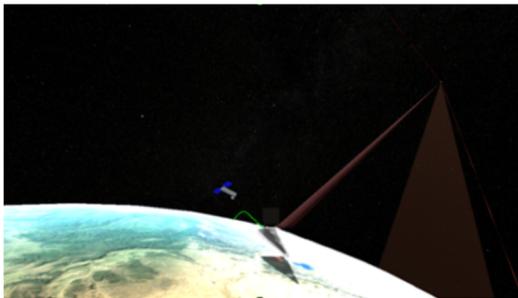


图 7 卫星探测波束场景  
Fig. 7 Probe beam of the satellite

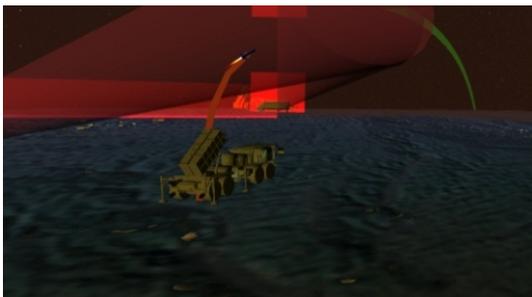


图 8 拦截弹发射场景  
Fig. 8 Emission scenario of the interceptor

## 6 结论

本文根据临近空间飞行器的作战特点，通过典型作战模式下的作战想定设计，开展了作战对抗条件下作战装备的全要素建模，搭建了临近空间飞行器作战对抗仿真平台与可视化推演系统，为后续衡

量临近空间飞行器作战能力、突防能力提供了分析方法与仿真手段。

## 参考文献:

- [1] 托尔克. 作战建模与分布式仿真的工程原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016.  
Tolk A. Engineering Principles Of Combat Modeling And Distributed Simulation[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2016.
- [2] 陈超, 李群, 王维平. 面向体系对抗仿真的模型测试方法研究[J]. 计算机仿真, 2007, 24(6): 69-73, 85.  
Chen Chao, Li Qun, Wang Weiping. Study on Model Testing Approach for System-of-systems Combat Simulation[J]. Computer Simulation, 2007, 24(6): 69-73, 85.
- [3] 马继峰, 林金永, 高晓颖, 等. 空间攻防对抗体系的建模与仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(23): 5601-5605.  
Ma Jifeng, Lin Jinyong, Gao Xiaoying, et al. Research on Modeling and Simulation of Space Countermeasure system[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(23): 5601-5605.
- [4] 何忠骏. 基于 HLA 的导弹武器攻防对抗仿真方法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.  
He Zhongjun. Research on attack-defense confrontation simulation method for missile based on HLA[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013.
- [5] 郭聪, 王守尊. 基于 Unity3D 的飞行可视化仿真系统设计[J]. 电子设计工程, 2016, 24(5): 47-50.  
Guo Cong, Wang Shouzun. Design of real-time flight sence simulation based on Unity-3D[J]. Electronic Design Engineering, 2016, 24(5): 47-50.
- [6] 郭齐胜, 董志明, 李亮, 等. 系统建模与仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.  
Guo Qisheng, Dong Zhiming, Li Liang, et al. System Modeling and Simulation[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2007.
- [7] 唐忠, 薛永奎, 刘丽. 美军作战仿真系统综述[J]. 航天电子对抗, 2014, 30(4): 45-48, 52.  
Tang Zhong, Xue Yongkui, Liu Li. Overview of typical warfighting simulation systems of the U. S. army[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2014, 30(4): 45-48, 52.