

doi: 10.7690/bgzdh.2013.07.003

## 基于 MAS 的空间信息支援反导作战效能评估

杨娟<sup>1</sup>, 池建军<sup>2</sup>

(1. 装备学院科研部, 北京 101416; 2. 装备学院研究生管理大队, 北京 101416)

**摘要:** 对空间信息系统在导弹防御中的支援效能进行评估, 可为空间信息系统在军事方面的应用研究和发展提供有效借鉴。分析典型反导作战的流程, 建立空间信息支援反导作战活动的节点树模型以及空间信息支援反导作战的多 Agent 系统模型, 并对空间信息支援反导作战多智能体模型进行仿真与评估分析。仿真算例分析表明: 空间信息系统能大幅提升导弹防御系统的作战效能, 拦截概率提高了 44.6%。

**关键词:** 空间信息系统; 反导; 作战效能; 多智能体系统; 仿真

**中图分类号:** TJ761.8 **文献标志码:** A

## Evaluation of Space Information Support Anti-TBM Operation Efficiency Based on MAS

Yang Juan<sup>1</sup>, Chi Jianjun<sup>2</sup>

(1. Department of Scientific & Research, Academy of Equipment, Beijing 101416, China;

2. Administrant Brigade of Postgraduate, Academy of Equipment, Beijing 101416, China)

**Abstract:** The support efficiency of space information system in anti-TBM progress evaluated, it's provide reference for space information system work in military field application research. A representative operation flow of anti-TBM operation is analyzed. The space information system support anti-TBM node-tree model and space information system support anti-TBM operation multi-agent system (MAS) model are established. Carry out simulation and evaluation analysis for MAS system. The simulation results analysis show that space information system could improve the anti-TBM system operation efficiency evidently, the interception probability improves 44.6%.

**Key words:** space information system; anti-TBM; operation efficiency; MAS; simulation

### 0 引言

空间信息系统是由不同轨道上多种类型的卫星系统,按照空间信息资源的最大有效综合利用原则,通过互联互通和信息交换,构成的智能化综合信息系统。其主要功能是实现空间信息的获取、处理、传输、存储、分发管理、安全保密、导航定位等,为各军兵种作战力量和作战行动提供侦察、监视、预警、通信、导航、定位、气象观测、战场测绘等空间信息服务保障<sup>[1]</sup>。

反导(anti-TBM)作战效能的分析与评估是反导作战过程中必不可少的重要环节。准确、及时地评估反导作战效能(anti-TBM operation efficiency),在战时可以实现对弹道导弹的“拦截—评估”的作战策略,在日常训练中可以发现问题,有针对性地制定改进措施<sup>[2]</sup>。由于其视点高、范围广、速度快,且不受国界和地理条件的限制,空间信息系统已成为反导作战能力生成重要的信息支撑手段。随着导弹防御系统以及空间信息系统的技术发展,空间信息系统对导弹防御的信息支援作用愈见明显。对空间信息系统在反导作战中的支援效能进行客观、有

效的量化评估是一项亟需解决的问题。

Agent 是分布式计算环境下复杂系统建模的有效方法。基于多智能体(multi-agent system, MAS)的建模与仿真通过对实体间的交互建模实现对体系的整体建模,并得到体系的整体“涌现”行为<sup>[3]</sup>。它是一种自底向上的建模方法,通过将系统及环境中的实体抽象成具有反应性和主动性的 Agent,再用合适的 MAS 体系结构来组装它们,从而建立整个系统的仿真模型,实现对系统整体行为的模拟。目前,基于 MAS 的建模与仿真技术已成为复杂系统问题研究较为有效的方法之一。笔者对基于 MAS 的空间信息支援反导作战效能评估进行研究。

### 1 反导作战流程及作战活动分析

典型反导作战过程如图 1,主要环节<sup>[4]</sup>:预警探测→对来袭目标探测和跟踪→弹头识别→拦截弹中制导导引→末制导拦截弹寻的→拦截来袭目标→毁伤效果评估→再次打击决策。其中:预警卫星系统主要负责获取目标弹的状态数据,形成预警引导信息;导航卫星系统为拦截弹提供定位信息,辅助其完成中制导;通信卫星系统完成各种信息的传输。

收稿日期: 2013-01-06; 修回日期: 2013-02-11

基金项目: 部委级资助项目

作者简介: 杨娟(1966—),女,湖南人,副教授,从事军事科技发展战略、装备管理与发展、高校科研管理研究。

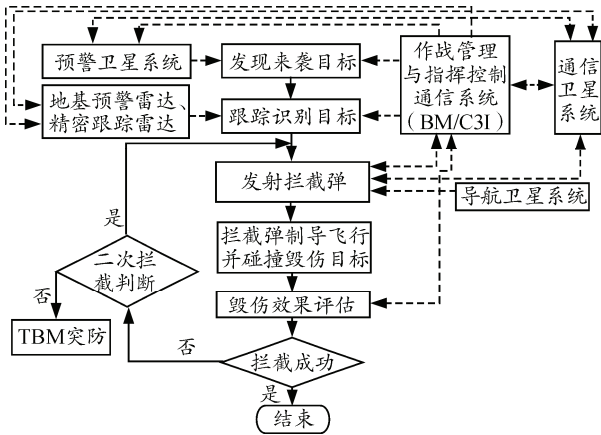


图 1 空间信息支援反导作战的作战流程

结合空间信息支援反导作战流程，建立包括预警探测、指挥控制、拦截作战、毁伤评估在内的反导作战活动节点树模型(OV-5)，如图 2<sup>[5]</sup>所示。

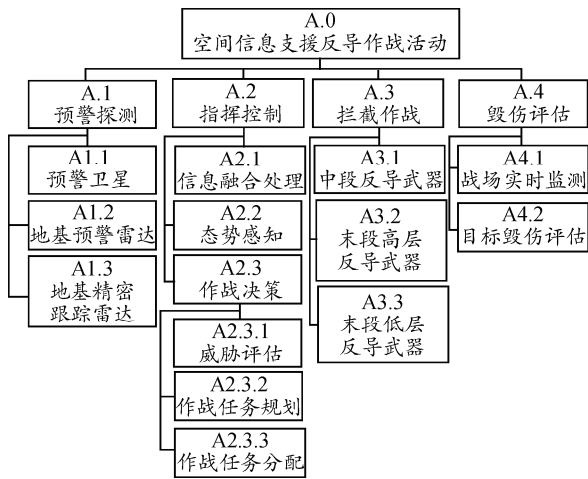


图 2 空间信息支援反导作战活动的节点树模型

## 2 空间信息支援反导作战 MAS 模型

空间信息支援反导作战 MAS 的组织结构既包含集中式结构的 MAS 系统，又包含分布式结构的 MAS 系统，属于一种混合式的 MAS 结构，如图 3<sup>[6]</sup>。从图 3 中可见，指挥控制中心 Agent 与预警雷达 Agent、拦截弹 Agent 以及精密跟踪雷达 Agent 之间存在指挥控制关系，其余 Agent 之间相对独立。

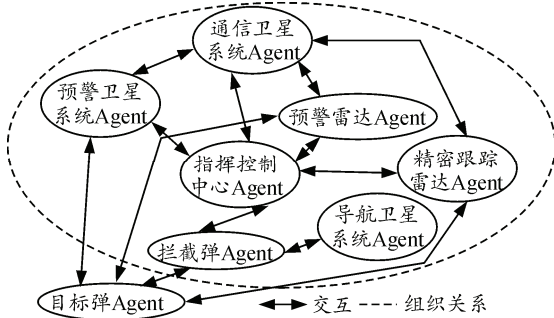


图 3 空间信息支援反导作战的 MAS 结构

## 2.1 预警卫星 Agent

预警卫星系统是导弹防御系统的重要组成部分，是快速获取敌方导弹发射信息，以便迅速采取防御和打击措施的有力手段。只有当预警卫星系统能够及早探测到目标弹发射，并且所提供的数据能够较好地对目标弹道进行估计时，才能保证拦截弹有足够的反应和作战时间。在反导作战中，预警卫星系统主要对目标弹的主动段进行探测(预警卫星从地球背景中探测导弹火箭发动机产生的尾焰，若探测到尾焰则报告弹道导弹的发射，并开始测量)，并为预警雷达提供引导信息。目前，预警卫星尚不具备星上信息处理能力，所探测的数据需要传递给地面站 Agent 进行处理，根据处理结果才能得到导弹的运动状态、关机点、落点等参数进行估计。地面站进行弹道预测和信息质量评定(即探测结果处理)，经过一定的信息处理时延后，将结果发送给指挥控制中心 Agent。

预警卫星 Agent 可表示为：

$EW\_Agent = \langle \text{标识, 轨道参数, 探测器参数, 扫描模式, 扫描周期, 视线测量误差, 几何可见规则, 信息获取规则, 通信策略} \rangle$

地面站 Agent 可表示为：

$GS\_Agent = \langle \text{标识, 位置, 信息处理时延, 弹道预测方法, 信息评定策略} \rangle$

预警卫星 Agent 的行为规则流程为：

1) 按照一定扫描模式(锥扫模式或推扫模式)对特定区域扫描，如果目标出现在扫描区域内，则记录探测信息，并依据几何可见规则和信息获取规则得目标相对于己方的方位角、俯仰角、探测时刻。

2) 选择一定的通信策略(直接与预警卫星系统地面站 Agent 通信、或借助通信卫星系统 Agent 与地面站 Agent 通信)，将所探测到的信息传递给地面站 Agent。

## 2.2 通信卫星系统 Agent

通信卫星系统一般由通信卫星星座、用户部分和地面部分组成。用户部分包括个人、机载和车载卫星终端；地面部分包括地球网关站、网络控制信息、移动用户信息管理系统以及地面骨干通信网。通信卫星、用户部分、地面部分三者之间通过通信链路相连接。通信卫星系统是导弹防御中通信系统的重要组成部分，用于在地基雷达和预警卫星系统等信息获取系统、拦截弹作战单元、各个指挥层级之间进行准实时数据传输。在反导作战中，需要借助通信卫星系统进行信息传输的通信关系包括：预

警雷达、精密跟踪雷达与指挥控制中心之间，预警卫星系统(主要是指地面站)与指挥控制中心之间。

通信卫星 Agent 可表示为：

CSS\_Agent=<标识，结构模式，轨道参数集合，通信载荷参数集合，路由选择与规则，状态集，通信规则>

其中：状态集是通信卫星 Agent 内部的通信载荷使用状况以及卫星分布情况的集合；通信规则是通信卫星系统 Agent 能否接受通信请求以及进行信息传输的准则。路由选择则与星座构成、星间链路的设置情况以及用户位置分布等因素有关，通常有集中式自适应路由和分布式自适应路由 2 种方式。路由规则是通信卫星 Agent 依据一定的路由选择算法，确定信息传输路径的方法。

通信卫星系统的用户 Agent 可表示为：

User\_Agent=<标识，本体属性，任务属性，接入策略，行为规则>

### 2.3 导航卫星系统 Agent

在导弹防御中，拦截弹要实现成功拦截，一个必要条件是导航定位系统要提供精确的定位信息。当拦截弹发射后，在其他作战系统性能一定的情况下，能否实现成功拦截的关键就在于拦截弹能否实现精确制导。导航卫星系统在反导作战中的作用主要是对拦截弹进行定位，即在坐标系中确定拦截弹的位置，以便准确迅速地将拦截弹引导到拦截点。

导航卫星系统 Agent 主要包括导航卫星 Agent 和系统管理 Agent。

导航卫星 Agent 可表示为：

Nav\_Agent=<标识，星座构成，测距误差集合，天线波束宽度集合，状态集，定位精度评定>

其中：星座构成分为同构星座和异构星座 2 种；状态集是导航卫星系统 Agent 内部状态的集合，即系统中所有卫星在空间中的位置分布情况；定位精度评定则是导航卫星系统 Agent 自身对完成任务质量或效能的评价。

系统管理 Agent 可表示为：

Nav M\_Agent = <标识，评标策略，任务评估方法>

### 2.4 预警雷达 Agent

预警雷达 Agent 可表示为：

ER\_Agent=<标识，部署位置，最小方位角，最大方位角，最小高低角，最大高低角，最大探测距离，波束宽度，波束个数，驻留时间，捕获时间规则，跟踪时间，行为规则>

其中：部署位置、最小方位角、最大方位角、最小

高低角、最大高低角、作用距离、波束宽度以及驻留时间是预警雷达 Agent 的基本属性定义；捕获时间规则是由目标进入预警雷达作用距离到被捕获之间的时间确定，以及能否捕获到目标的规则(捕获时间与是否有预警卫星系统的引导信息以及预警卫星系统的信息引导精度密切相关)；跟踪时间反映了预警雷达的总体跟踪性能。

### 2.5 精密跟踪雷达 Agent

精密跟踪雷达 Agent 可表示为

TR\_Agent=<标识，部署位置，最小跟踪时间，最大截获距离，目标定位误差，行为规则>

其中：最小跟踪时间是指精密跟踪雷达 Agent 在捕获到目标后，要实现对目标弹弹道的测量所需的最少时间；最大截获距离是精密跟踪雷达 Agent 所能探测到的最大距离；目标定位误差是拦截弹 Agent 在飞行过程中，精密跟踪雷达 Agent 为其提供的关于目标弹的位置误差。

### 2.6 拦截弹 Agent

拦截弹 Agent 可表示为：

Intercept\_Agent=<标识，导弹设计参数，能力参数，部署位置，导引头作用距离，拦截成功准则>

其中：能力参数包括拦截高界、拦截低界、最大拦截斜距、最小拦截斜距、平均拦截速度以及反应时间；导引头作用距离决定了拦截弹中制导阶段结束的時刻；拦截成功准则是当拦截弹 Agent 中制导阶段结束，刚进入末制导阶段时，判断是否能实现成功拦截的条件。拦截弹 Agent 如果接收到来自指挥控制中心 Agent 的拦截指令，则启动拦截分析行为，依据拦截成功准则，判断是否拦截成功。

### 2.7 目标弹 Agent

目标弹 Agent 可表示为：

Target\_\_Agent=<标识，导弹设计参数，发射点位置，攻击点位置，行为规则>

其中：发射点位置一般用地理经度和纬度来表示；攻击点位置表示目标弹预定攻击目标所在的位置。目标弹 Agent 的行为规则为：一是确定发射诸元(射向和主动段最大攻角)；二是目标弹 Agent 发射，并将动态的位置和速度信息发送给指挥控制中心 Agent；三是如果被拦截弹 Agent 拦截或者到达攻击点，则自动“销毁”。

### 2.8 指挥控制中心 Agent

指挥控制中心 Agent 主要负责接收预警卫星系统 Agent、预警雷达 Agent 以及精密跟踪雷达 Agent 的探测信息，对信息进村处理和决策；同时当其接

收到精密跟踪雷达 Agent 稳定跟踪的信息后，就对拦截弹 Agent 下达拦截指令。

指挥控制中心 Agent 可表示为：

BM/C3\_Agent=<标识，决策时延，部署位置，拦截点规划>

其中：决策时延是指指挥控制中心 Agent 接收到其他 Agent 的信息后，对信息进行处理和决策所花费的时间；拦截点规划是指指挥控制中心 Agent 依据目标弹 Agent 的位置和速度信息、拦截弹 Agent 的部署

位置、能力参数和设计参数，对拦截点进行预测，计算各个拦截点对应的拦截弹 Agent 的发射诸元。

### 2.9 Agent 之间的交互关系

空间信息支援反导作战所涉及到的 Agent 主要有：拦截弹 Agent、目标弹 Agent、预警雷达 Agent、精密跟踪雷达 Agent、指挥控制中心 Agent、通信卫星系统 Agent、导航卫星系统 Agent、预警卫星 Agent 以及地面站 Agent。各 Agent 间的交互关系如图 4。

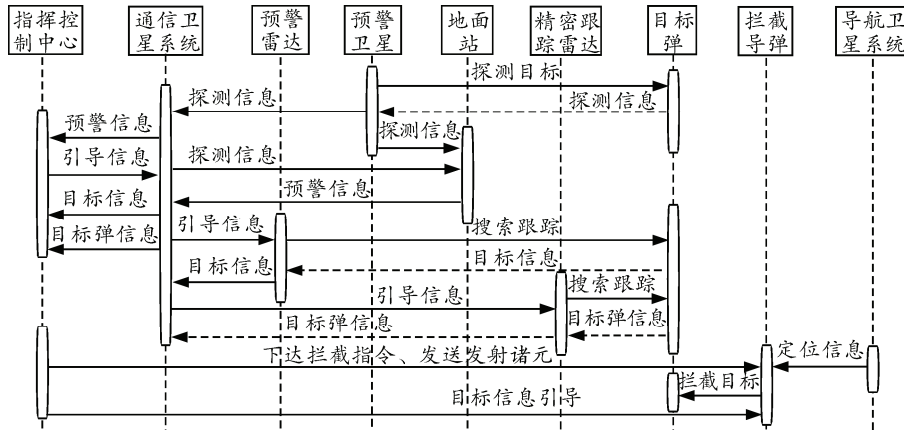


图 4 反导作战各个 Agent 之间的交互关系

### 3 仿真结果

AnyLogic 是一种创新的建模工具，能够有效地进行基于 Agent 的建模和仿真<sup>[7]</sup>。笔者基于 AnyLogic 平台，对空间信息支援反导作战效能进行仿真与评估分析。

在笔者所建立的仿真算例中，目标弹 Agent 的发射时间是随机的。当一枚目标弹 Agent 的生命(对应目标弹的全程飞行时间)结束时，在间隔任意时间后，会有一门新的目标弹 Agent 从发射点起飞，飞向攻击点位置。假设无空间信息支援，反导系统的拦截概率约为 31.2%。

笔者对若干种预警卫星系统、通信卫星系统、导航卫星系统的组合方案进行仿真分析，得反导系统的平均拦截概率约 75.8%，拦截概率提高 44.6%。

### 4 结论

根据仿真结果可得到以下结论：

1) 在通信卫星系统结构和参数确定的情况下，预警卫星系统和导航卫星系统的结构和参数对反导系统作战效能的影响明显。在设定的仿真条件下，当导航卫星系统的结构和参数确定时，预警卫星系统的结构和参数变化将导致反导系统的拦截概率最大相差 30%左右；当预警卫星系统的结构和参数确定时，导航卫星系统的结构和参数变化将导致反导系统的拦截概率最大相差 35%左右。

2) 在通信卫星系统能够实现对作战区域完全覆盖且带宽满足任务要求的情况下，确定预警卫星系统和导航卫星系统的结构和参数，仿真实验证明，通信卫星系统结构和参数变化对反导系统作战效能的影响不明显。

3) 在通信卫星系统能够实现对作战区域完全覆盖且带宽满足任务要求的情况下，预警卫星系统和导航卫星系统的结构和参数是提高反导系统作战效能的关键。其中，预警卫星系统的结构和参数是提高反导系统作战效能的前提，导航卫星系统的结构和参数是提高反导系统作战效能的倍增器。

### 参考文献：

[1] 黄文清, 等. 空间信息系统建模与效能仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010: 1.

[2] 李刚, 安兴, 徐林伟, 等. 一种反导作战效果评估方法[J]. 现代防御技术, 2011, 39(5): 21-24.

[3] 胡晓峰, 杨镜宇, 等. 战争复杂系统仿真分析与实验[M]. 北京: 国防大学出版社, 2008: 205-238.

[4] 罗小明, 等. 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: 143-150.

[5] 姚勇, 李智. 基于 DoDAF 的 C2BMC 系统作战视图研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2011, 22(3): 76-81.

[6] 罗小明. 基于多智能体技术的反辐射导弹作战效能评估建模研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2010, 21(4): 111-115.

[7] 黄小钰, 李智. 基于 MAS 的通信卫星系统整体效能评估方法[J]. 装备指挥技术学院学报, 2012, 23(1): 89-93.