

融合 AI 的无人机反制策略 虚拟仿真与决策优化

■ 赵宏飞

摘 要 针对无人机普及带来的“低慢小”目标泛滥及其对公共安全的严峻挑战，传统经验型反制手段已难应对集群化、智能化等新型威胁。为贯彻科技兴警，提升社会治理现代化水平，研究聚焦虚拟仿真技术在无人机反制领域的应用，探索其驱动下的部署设计与优化方法。重点提出了基于虚拟仿真的无人机反制策略部署设计流程，涵盖需求牵引下的目标与场景设定、反制资源要素参数化建模、仿真驱动的方案生成与迭代优化以及部署方案输出与可视化等关键环节。旨在利用模型化、数字化的虚拟仿真手段，科学论证并优化反制策略，为提升低空安全立体防控的精准性、协同性与整体效能提供决策支持与技术路径，服务新时代国家公共安全需求。

关键词 虚拟仿真 无人机反制 立体防控

一、引言

随着无人机技术的快速发展和低成本普及，其“低、慢、小”特性已令低空安全面临前所未有的挑战。近年来，无人机涉政、涉敏场所的非法闯入事件频发，部分甚至被不法分子用于走私、偷拍和扰乱公共秩序，极大威胁国家安全和社会稳定。传统防控手段往往依赖经验，已难以应对集群化、智能化等新型无人机威胁。党的二十大和二十届二中、三中全会明确提出，要加快推进社会治理现代化、坚持“科技兴警”与“智慧公安”。

伴随虚拟仿真、数据建模等数字化技术的广泛应用，无人机反制体系部署迎来新机遇。虚拟仿真可实现对复杂场景下无人机威胁的高效推演、部署优化及效能评估，为防控策略的科学制定与高效执行赋能。本研究以聚焦虚拟仿真驱动下的无人机反制部署，以模型化、数字化手段精准提升低空安全管控能力，为新时代社会治理体系和国家公共安全提供坚实科技支撑。

二、研究现状

（一）国外研究现状

作者：中国人民警察大学讲师

国外在无人机防控领域已取得显著进展，特别是无人机的协同作战、自主控制以及安全飞行方面。例如，英国 QinetiQ 公司实现了有人机对无人机群战术层面的协调与控制。美国麻省理工学院和波音公司合作，实现了机载驾驶员利用语音传输与识别技术向无人机传达指令，协调执行任务。此外，美军的 C2BMC 系统是全球较为领先的指控系统，具备态势感知、自适应规划、通信、建模、仿真与分析等关键指挥控制类技术。

（二）国内研究现状

国内对于无人机防控的研究处于快速发展阶段，已取得不少成果。例如，在地面无人系统的多智能体协同控制研究方面，进行了深入探索。在警用无人机领域，利用无人机采集现场各类传感数据，迅速将现场的视频、音频、传感信息传送到指挥中心，实时跟踪事件的发展态势，供指挥者进行判断和决策。无人机立体防控系统运用了创新的无人机应用技术及系统解决方案，发挥无人机平台结合视频图像、红外传感等监控技术、无人机智能任务规划和航线规划、无人机视觉智能感知，实现空中对复杂地形、复杂结构区域以及人口密集等重点防控区域进行智能化监测和科学化管控。

三、虚拟仿真技术在无人机反制中的应用分析

在无人机技术广泛应用的背景下，警用无人机、民用无人机和军用无人机在任务目标、使用环境、技术需求、法律约束及反制策略等方面呈现显著差异。

警用无人机主要服务于公共安全领域，任务聚焦于低空安全监控、违法行为侦查、应急救援及反制非法无人机，需在城市或人

群密集区域执行任务，强调快速响应、精准干预与人机协同，对安全性和合法性要求极高。相比之下，民用无人机多用于商业或个人用途，如航拍、物流配送等，任务目标以经济效益或便利性为主，使用环境较为开放，对抗性与安全性要求较低；军用无人机则以战场作战为核心，任务包括侦察、打击与电子对抗，强调高隐蔽性与杀伤力，常在敌对环境运行，与警用无人机的非致命性任务形成鲜明对比。

在技术需求方面，警用无人机需融合人工智能技术实现实时数据分析、目标识别与动态决策，并与公安指挥系统无缝对接，同时注重数据安全与隐私保护；民用无人机技术需求偏向成本控制与功能多样化，智能化程度较低；军用无人机则注重高性能传感器与武器系统集成，技术目标更偏向对抗性与破坏性。此外，警用无人机受严格的法律与伦理约束，需在保障公民权益的前提下执行任务，而民用无人机法律约束相对宽松，军用无人机则更多受国际战争法规范。

上述差异决定了警用无人机反制策略的特殊性。虚拟仿真系统在警用无人机反制中的应用，需充分考虑其城市化任务环境与非致命性干预需求，模拟复杂对抗场景，优化精准部署与动态决策方案，而非简单套用民用或军用领域的反制模式。

虚拟仿真技术（Virtual Simulation Technology）以其独特的优势，为无人机反制部署与立体防控效能研究提供了强大的支撑平台和科学的分析手段，是实现“对破局思路有通盘谋划、对任务举措有科学论证”的关键赋能技术。在无人机反制领域的应用主要体现在以下几个方面：

（一）复杂对抗环境与威胁目标建模仿真

无人机反制场景往往涉及复杂的地理环境、多变的电磁环境以及多样化的无人机威胁。虚拟仿真技术能够：

1. 构建高逼真度战场环境

精确模拟地形地貌、气象水文、建筑遮挡、电磁干扰等因素对探测与拦截效果的影响，为部署提供接近实战的决策依据。

2. 模拟多样化无人机威胁

对不同类型无人机、不同规模、不同战术进行参数化建模和行为仿真。

3. 动态生成对抗想定

基于预设规则或引入人工智能（AI）算法，生成具有不确定性和适应性的无人机入侵与规避策略，考验反制体系的鲁棒性和应变能力。

（二）反无人机装备体系性能仿真与评估

反无人机涉及“侦、控、扰、打”等多个环节和多种装备。虚拟仿真技术可以：

1. 精细化模拟装备性能

对雷达、光电、无线电侦测等探测传感器的探测距离、精度、虚警率、抗干扰能力；对干扰设备的作用范围、干扰效果、功率需求；对激光、微波、拦截弹、网捕等硬杀伤武器的毁伤概率、拦截窗口、附带损伤等进行精确建模。

2. 仿真多传感器融合与信息处理

模拟不同传感器的数据采集、传输、融合处理过程，分析信息融合对目标识别、定位精度的提升效果。

3. 评估系统关键技术瓶颈

雷达引导光电交接时的精度匹配问题，并通过仿真验证“光电红外俯仰扇扫”等解决方案的实际效果。

（三）反无人机部署与战术运用推演

优化装备部署和战术协同是提升立体防

控效能的关键。虚拟仿真技术能够：

1. 支撑部署方案优化

在虚拟环境中测试不同探测、干扰、打击装备的部署位置、覆盖范围、协同方式，通过大量仿真运行，寻找最优的部署策略，实现“点线面”结合的立体防控。

2. 推演多种战术协同

模拟“多目标协同打击”和“远程协助打击”等复杂战术场景，评估不同指挥控制流程、火力分配规则、协同机制下的作战效能，发现协同瓶颈，优化作战预案。

3. 进行“What—if”分析

模拟在不同威胁、不同环境、不同系统状态下的反制效果，评估体系的抗毁伤能力和冗余设计。

（四）指挥员与操作手技能训练与战法研究

虚拟仿真为人员训练和战法创新提供了安全、高效、低成本的平台：

1. 沉浸式操作训练

为雷达操作手、光电跟踪手、干扰操作手、指挥员等提供高逼真度的操作界面和战场环境，使其在模拟对抗中熟练掌握装备操作、目标识别、威胁判断、协同通信等技能。

2. 复杂战术场景演练

模拟大规模、高强度的无人机集群攻击或复杂电磁对抗环境，训练指挥员的临场决策能力、资源调度能力和应急处置能力，锤炼“识一防一打”综合应对能力。

3. 创新战法验证与固化

可以在仿真环境中自由探索和验证新的反制战术、协同模式，快速迭代、优化战法，并将成熟有效的战法固化为训练科目或作战预案。

（五）立体防控体系效能评估与优化

虚拟仿真技术在反无人机领域的核心价

值体现：

1. 量化评估防控效能

通过设定明确的评估指标（如探测概率、拦截成功率、反应时间、防御覆盖率、资源消耗、指控效率等），运行大量蒙特卡洛仿真，对不同部署、装备配置、战术运用下的体系整体效能进行定量评估和对比分析，为决策提供科学依据。

2. 识别体系短板与瓶颈

通过仿真结果分析，定位影响整体效能的关键因素（如某个传感器的探测盲区、某个环节的处理延迟、某种协同机制的低效），为体系的改进升级提供明确方向。

3. 支撑装备需求论证与技术发展

仿真结果可以反哺装备研发，为新装备性能指标的确定、现有装备的升级改造提供数据支撑，牵引反无人机技术的持续发展。

四、面向 AI 视域下的虚拟仿真体系智能化应对机制

近年来，人工智能技术的广泛应用进一步加速了无人机系统的智能化发展，使其具备持续学习、自主适应与集群协同等复杂能力。在警用无人机建设领域，面临的外部威胁已由传统规则驱动演变为动态策略驱动，多源智能无人机能够在线学习仿敌火力、规避常规防区、实施协同迷惑和泛域攻击，致使警用反制体系的威胁识别、资源调度、情报推演等环节遭遇“策略漂移”“对抗升级”“模型老化”等挑战。在 AI 技术迅猛发展的背景下，警用无人机建设面临多重挑战与威胁，主要包括：

AI 驱动的无人机集群攻击：非法无人机可能利用 AI 算法实现自主路径规划、动态规避和协同攻击，其高智能性与不确定性

对传统反制手段构成严峻挑战。

警用无人机自主决策需求与风险：警用无人机需在复杂环境中实现快速自主决策，但 AI 算法的“黑箱”特性可能导致决策偏差或不可控风险，影响任务执行可靠性。

对抗性 AI 技术的威胁：不法分子可能利用对抗性 AI 技术干扰警用无人机的感知、通信系统，降低其任务效能，甚至诱导错误决策。

数据安全与隐私保护问题：AI 驱动的警用无人机在数据采集、传输、处理过程中，面临数据泄露、篡改或被恶意利用的风险，对系统安全性提出更高要求。

为应对此类“AI 视域下”的复杂威胁态势，虚拟仿真系统亟需融入智能建模、博弈推演与自适应优化等关键能力。一方面，应基于多智能体深度学习算法，构建能够实时演化的无人机敌情模型，将无人机潜在行为、群体决策、对抗演变过程进行高动态、不确定性建模，提升虚拟演练的实战相关性。另一方面，应采用在线参数更新和“数据驱动+经验映射”混合机制，实现仿真模型对新威胁的即时识别和仿真推演能力的持续优化。此外，应加强多源感知与反馈机制建设，通过虚实结合的训练与数据采集，将仿真优化成果反哺至无人机部署实战，形成从威胁建模、策略迭代到部署执行的智能闭环。最终，有效提升警务无人机体系对 AI 力量威胁的适应能力、动态协同能力和复杂环境下的高效决策能力。

五、基于虚拟仿真的无人机反制部署设计

虚拟仿真技术赋能无人机反制部署，使得我们能够在复杂、动态、高对抗的环境下，

以科学、系统、高效的方式进行部署方案的设计、推演与优化，确保规划具备清晰的认知把握和科学的任务论证。无人机反制部署研究思路如图 1 所示。

（一）需求牵引下的仿真目标设定与场景构建

设计的起点是对反制需求的精确定义和对作战环境的深刻理解，这是实现“清晰把握”的基础。

1. 明确防护目标与等级

首先需要界定防护对象（如重要会议场所、关键基础设施、大型活动现场、边境线等），并根据其重要性、易受攻击性确定防护等级和反制目标。

2. 剖析潜在威胁想定

结合情报信息与威胁评估，利用仿真平台构建多样化的无人机入侵想定。这包括：威胁主体：单机、小编队、大规模“蜂群”。

威胁类型：侦察监视型、攻击破坏型（携带爆炸物、化学品）、干扰袭扰型。

入侵路径与战术：低空隐蔽突防、高空高速俯冲、多方向饱和攻击、利用地形/建筑掩护、电子欺骗/干扰伴随等。

3. 构建高保真虚拟战场环境

精确建模防护区域的三维地理信息（地形、地貌、建筑物）、气象条件（风、雨、雾）、以及关键的电磁环境特征（背景噪声、潜在干扰源），为后续部署提供真实的“数字底板”。

（二）反制资源要素的参数化建模与部署空间定义

科学部署的前提是对我方可用资源的精确掌握和数字化表达。无人机反制体系框架图如图 2 所示。

1. 装备性能数字化

对各类反制装备进行参数化建模，输入

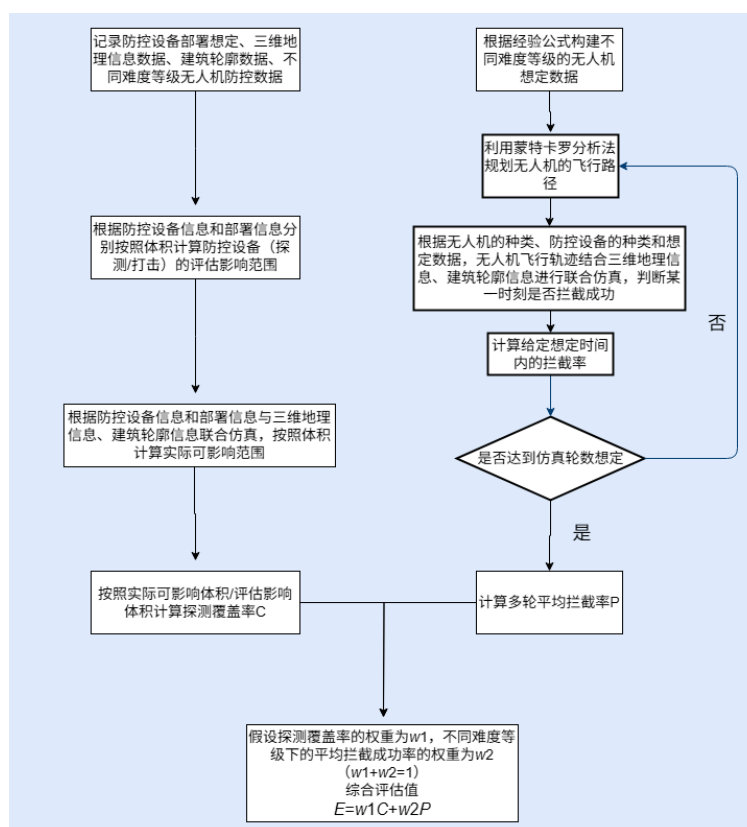


图 1 无人机反制部署体系研究思路

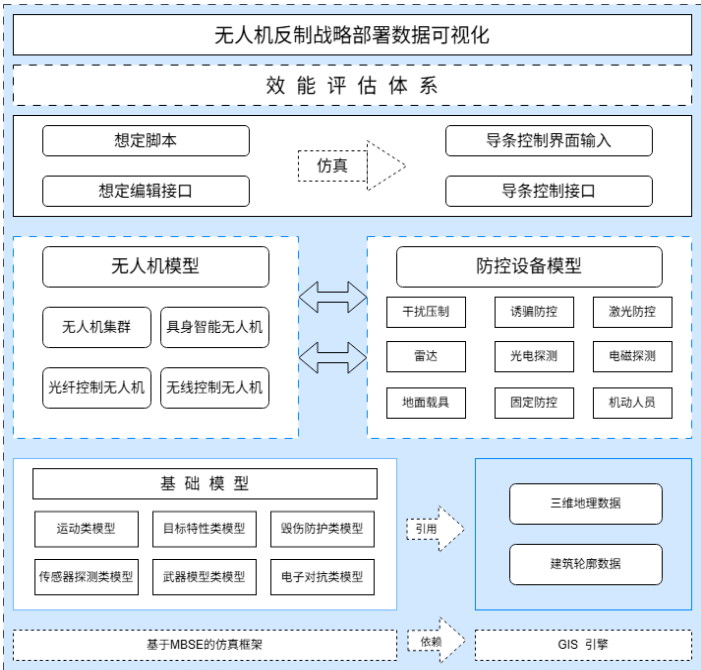


图 2 无人机反制体系框架图

其关键性能指标。

探测系统：雷达（探测距离、威力范围、分辨力、扫描周期）、光电（识别距离、视场角、跟踪精度）、无线电侦测（测向精度、频率范围、灵敏度）等。

干扰系统：压制干扰（功率、范围、作用频段）、欺骗干扰（样式、范围）等。

硬杀伤系统：拦截弹 / 导弹（射程、射高、命中概率、反应时间）、激光 / 微波（功率、有效距离、毁伤时间）、网捕 / 无人机（作战半径、捕获 / 拦截概率）等。

指挥控制系统：信息融合能力、决策辅助逻辑、指令下达时延等。

2. 定义部署约束与变量

明确装备部署的物理约束和战术约束。将部署位置、探测扇区朝向、干扰功率设置、武器警戒 / 发射条件等定义为可在仿真中调整的变量。

（三）仿真驱动的部署方案生成与迭代优化

利用虚拟仿真进行“通盘谋划”和“科

学论证”的核心环节，通过“设计—仿真—评估—优化”的闭环流程进行：

1. 初步部署方案生成

基于专家经验、典型战例或初步的覆盖分析，生成若干个初始部署方案。

2. 多想定仿真推演

将初步方案置于预设的多种威胁想定和虚拟战场环境中进行大量仿真运行。记录关键过程数据，如目标发现时间、稳定跟踪时间、识别确认时间、干扰 / 拦截效果、漏网目标数量 / 轨迹等。

3. 效能指标量化评估

依据预设的评估指标体系（如探测覆盖率、预警时间、拦截成功率、体系反应速度、资源消耗效费比等），对仿真结果进行量化分析，评估各方案在不同想定下的表现。

4. 瓶颈分析与优化迭代

识别当前部署方案的薄弱环节（如探测盲区、火力空白、协同不畅、指控延迟等）。基于分析结果，调整部署参数，生成改进方案，并重新进行仿真评估。（下转第 79 页）