 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i6.10805

Simulation Study on the Evaluation of Collaborative Combat Efficiency Between New and Existing Unmanned Equipment

Xiquan Ding[1] Jiangang Gao[1] Liying Duan[1] Yanshuo Chen[2]

1. Unit 32212, Beijing 100000, China
2. Unit 32213, Hebei Huailai 075400, China

Abstract

As unmanned systems continue to evolve toward greater informatization and intelligence, their functions have expanded beyond traditional reconnaissance and support roles to encompass multiple operational domains. However, the development and deployment of unmanned systems is a lengthy process, and there is currently a lack of research on the overall operational effectiveness when new and existing systems are deployed together. To address this issue, a simulation experiment was conducted using a particle swarm optimization algorithm for close-range target engagement missions. By adjusting the initial velocities and velocity caps of particles, as well as controlling the ratio of new to existing systems, the operational effectiveness of mission completion under different equipment configurations was evaluated. The results demonstrate that incorporating a small number of new systems significantly enhances the overall operational effectiveness of unmanned combat groups in close-range missions, whereas adding a limited quantity of legacy systems has a minimal impact on overall performance.

Keywords

unmanned equipment; particle swarm optimization algorithm; new and old equipment; collaboration; combat effectiveness

新老无人装备协同作战效能评估仿真研究

丁溪泉[1] 高建岗[1] 段丽颖[1] 陈彦硕[2]

1. 32212 部队，中国 · 北京 100000
2. 32213 部队，中国 · 河北 怀来县 075400

摘　要

随着无人装备不断朝着信息化、智能化发展，其功能早已从传统的侦察保障开始向多作战领域延伸。但是无人装备的研发与列装是一个漫长的过程，对于新老装备配合使用时整体作战效能发挥率，目前缺少相应的研究。为探寻此问题，通过搜索抵近目标作战任务，使用粒子群算法进行仿真实验。改变不同粒子的初速度及速度上限、控制新老装备占比，计算新老装备不同占比时完成任务的作战效能。实验结果表明，在搜索抵近目标任务中，少量新装备的加入能够显著的提升无人战斗群整体作战效能，反过来少量老装备则对整体效能影响较小。

关键词

无人装备；粒子群算法；新老装备；协同；作战效能

1 引言

随着无人装备技术的发展以及无人装备的应用，现代战争正在经历巨大变革。无人系统部队在战斗使用期间正不断集成各种作战系统功能 [1]。承担包括情报收集、火力打击支援、电子战干扰、后勤保障等，还能和其他兵种协同作战；实施光电、无线电和无线电侦查，对敌方装甲车、有生力量、战场工事等目标实施快速、高精度打击；模拟虚假电磁环境引诱敌方向虚假目标开火；承担弹药物资运送及战场伤员运送等后勤保障任务。

在近几年的俄乌战争中俄罗斯积累了大量战术侦察无人装备使用经验。这加速了俄无人装备的研制与发展 [2]。而美国方面，美军的战术无人装备已经开始采用的混合动力、倾转构型控制等先进技术进行改进，使无人装备拥有较长续航时间，提升无人装备在战场上的灵活性、敏捷部署以及融入联合作战体系的能力。另外，其它国家近些年也在不断的提升自己无人装备实力，英国的 AR3 无人机可以利用射频存储器（DRFM）获取敌方雷达信号，改变自己的信号特征，进而欺骗干扰雷达系统；法国的“Robotics Ultro”、德国“任务大师”和捷克“Taros V4”等多款无人装备参与了在爱沙尼亚举办的地面无人装备自主性试验，全方位考核了装备的自主化、智能化水平 [3]。我国同样重视军用无人装备，2014 年开始我国每两年举办一次的“跨越险阻“陆上无人系统挑

【作者简介】丁溪泉（1991–），男，满族，中国辽宁抚顺人，硕士，助理工程师，从事无人装备研究。

战赛”。2024 在年第十五届中国国际航空航天博览会期间，翼龙 -6、云影 -350 等十余型无人机首次公开亮相。

在这样的大环境下，国内很多学者开始对无人装备进行了研究。刘建新等人致力于提升无人装备性能的办法，他们将视野从单个无人装备拓展至无人作战群，通过让不同机群搭载不同设备，单机之间相互协同，在全维度上提升无人作战群性能，以便完成高复杂、强对抗战场环境下的任务 [4]。于兆文等人则是提出了无人机蜂群作战场景设计的 6 要素：“场景目标、作战背景、作战目的、兵力编成、指挥关系、作战行动”[5]。

2 存在问题

虽然目前各种无人装备在快速发展，但是无人装备体系建立却略显不足。各军兵种、各军工企业，各自闭环，“信息孤岛”现象较为严重 [6]。同时无人装备的全体系研发与列装是一个漫长的过程，随着装备不断迭代，过程中难免会出现不同性能的装备协同使用的情况。曲林涛等人解决协同问题时使用的融合算法，不仅具有更好的准确性和稳定性，同时也能提高协同效能，相较位置更新算法和 RTT* 算法，其计算时所需的平均时间更少、平均距离更适中 [7]。也有部分学者从宏观层面不断增强装备间协同工作效能。吕金虎等人通过分析不同集群协同定位方法的优缺点，讨论了基于传感器网络部署和智能体轨迹优化的集群系统定位增强方法 [8]。他们的研究更多倾向于如何实现装备之间的配合和信息互通，很少有人去考虑无人装备互相协同、互相配合后工作效能的问题，无人装备的目标不是为单点作战服务的，其必须要融入现役装备体系中，最终达到新式无人装备与现役无人装备之间的互联互通、协同作战的效果。新老装无人备配合时，新装备的性能优势是会受到老装备限制无法发挥，还是新装备将代动老装备提升整体效能，目前却缺乏相应的研究。

3 求解策略

新老无人装备之间虽然具有大部分相同的功能，但是性能方面却存在差异，通常来讲新装备的各方面性能要强于老装备，在任务中新装备的稳定性更高，性能发挥出来也更好一些。

本文从陆上机动性能层面入手，分析研究新老装备协同作战的效能，使用粒子群算法进行模拟。粒子群算法是一种全局优化的进化算法，基于群体智能。算法中多个粒子以不同状态出发，共同搜索全局最优目标，每个粒子除自身搜寻外，还会受群体影响，而反过来每个个体所搜寻到的最优目标又会影响整体最优目标，个体与群体不断改变共同迭代，使得群体中的所有个体都聚拢于全局最优。其中粒子的位置和速度迭代规则为：

$$v^{k+1}=v^{k}\times w+C_1\times(x_m-x)+C_2\times(y_m-x)$$

$$x^{k+1}=x^{k}+v^{k}$$

式中，v 为粒子速度；x 为粒子的位置；w 为惯性权重；x_m 为每个个体的历史最佳位置；y_m 为种群的历史最佳位置；c_1 为自我学习因子；c_2 为群体学习因子。

设计思路：在一片固定区域内设置一个目标点，越靠近目标点粒子会获得越强的反馈（计算值越接近最优解）；将装备假设为算法中的粒子，所有粒子从边界区域出发，对整片区域进行探索。通过设置两组粒子，分别赋予不同的初速度和速度上限，来模拟新老装备在任务过程中机动性能的差异。搜索过程中粒子之间共享信息，相互影响；通过比对不同模拟条件下迭代次数和适应度来判断解的质量。

4 仿真与分析

设定迭代次数 T=70，种群数 N=12，场地大小为 500km × 500km 正方形区域；

惯性权重设置为 0.95，c_1 自我学习因子设定为 0.5，c_2 群体学习因子设定为 0.5；

所有的无人装备从 X 轴位置出发，按照 40km 间距排布，从 40km 位置开始布置直至 480km 位置结束，无人装备的速度方向均垂直于 X 轴，沿着 Y 轴正向。其中新装备初始速度为 30m/s，速度上限为 30m/s，老装备初始速度为 20m/s，速度上限为 20m/s；

$$f=(x-150)^2+(y-300)^2$$

通过算法设定，让粒子搜寻整片区域内解的最小值，最优解（任务目标）设定在（150，300）。

由于算法计算时采用的假定参数会影响完成任务时间。为去除这种影响本文采用迭代次数而非时间来比较无人装备组群的工作效能。受算法影响，当粒子抵达最优解之后，粒子受自身惯性影响仍然会在最优解周围摆动，之后随着迭代次数不断增加这种摆动幅度（适应度数值）会逐渐减弱以至于趋近于 0。认定当适应度数值低于 150 时，无人装备已全部抵达任务目标。

当 12 架无人装备均为老装备时，初始速度和速度上限均为 20m/s，如图 1；

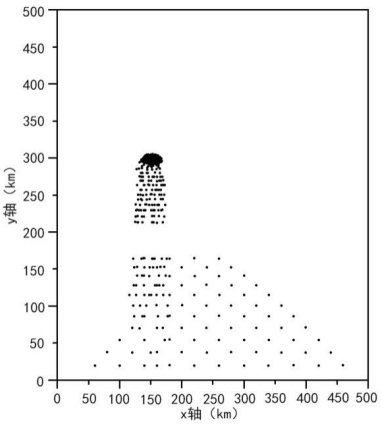


图 1 12 架老装备搜索目标过程图

任务完成时迭代次数为 29 次，对应适应度为 107.862。

当 12 架无人装备均为新装备时，初始速度和速度上限均为 30m/s；

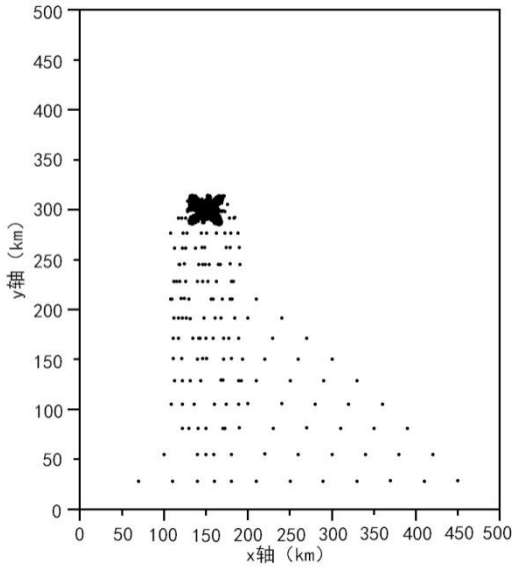


图 2 12架新装备搜索目标迭代图

任务完成时迭代次数为 15 次，对应适应度为 66.341。

当仅有一台新装备其余均为老装备时，新装备初始速度和速度上限均为 30m/s；老装备初始速度和速度上限均为 20m/s，如表 1；

表 1 1架新装备 11 架老装备任务完成时迭代次数及适应度

序号	新装备初始位置	任务完成时迭代次数（次）	任务完成时适应度
1	（480,0）	19	31.794
2	（440,0）	19	122.269
3	（400,0）	20	4.908
4	（360,0）	19	21.172
5	（320,0）	19	40.008
6	（280,0）	17	81.023
7	（240,0）	17	80.589
8	（200,0）	17	113.884
9	（160,0）	16	10.300
10	（120,0）	18	125.809
11	（80,0）	18	38.116
12	（40,0）	18	35.273

当适应度数值低于 150 时，既认定无人装备已全部抵达任务目标。表中记录迭代次数为适应度低于 150 时的最大迭代系数；比较效率时，先考虑迭代次数，迭代次数相同时，适应度越小，任务完成效果越好。

从结果上可以看到，仅加入一架新装备后整体的效率就有了显著的提升，12 个不同初始位置对应的平均迭代次数为 18.08 次，平均适应度为 58.762。而新装备出发的位置离目标点越近，任务完成效率越高。但是从表格数据中发现：新装备出发点与效能之间不是正向相关，中间存在着一定的波动。

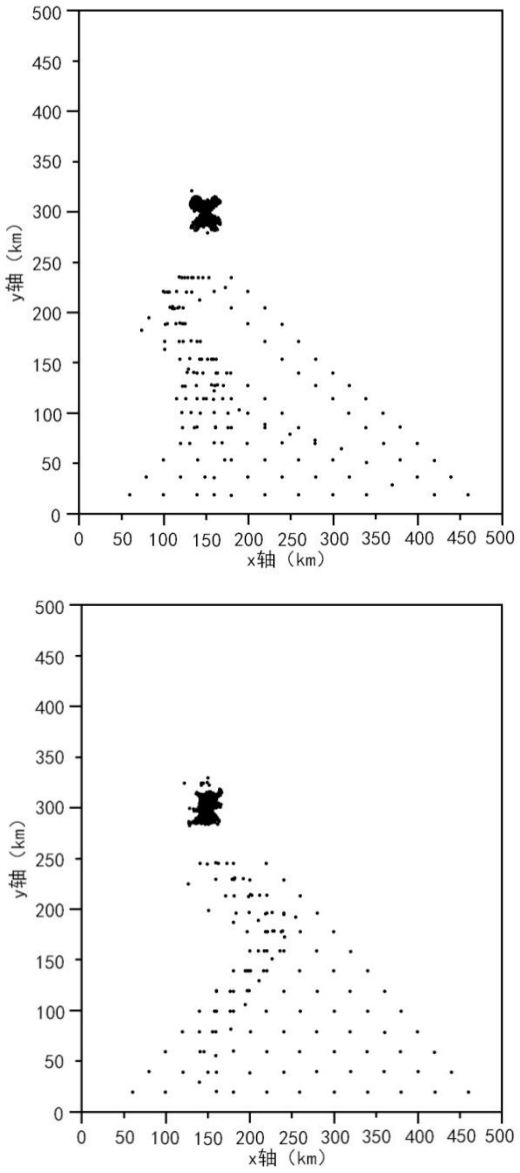


图 3 新装备位置（400,0）和（120,0）时搜索目标迭代图

结合无人装备群搜寻目标的路径，根据轨迹图，如图 3，无人装备先是整体偏航，之后再绕回到目标点。

通过分析，当新装备的位置不是正对着目标点时，最初的整体最优解会影响新装备的判断，并给予其一个水平速度使新装备偏航。但是由于新装备速度比老装备快，即使其偏航，迭代过程中新装备也会更早接近目标点，这反过来又为整体提供了一个错误最优解方向，最终使得整体无人装备全部偏航，反而使得整体搜索效率有所下降。

此外，本文考虑让新装备以多架为一组的方式重新带领老装备群进行模拟实验。模拟过程中新装备数量为 3，所

有装备初始排布仍然是按照 40km 间距，从 40km 位置开始布置直至 480km 位置结束，但是 3 架新装备并排布置。

表 2 3 架新装备 9 架老装备任务完成时迭代次数及适应度

序号	新装备初始位置	任务完成时迭代次数（次）	任务完成时适应度
1	（480,0）、（440,0）（400,0）	19	56.476
2	（440,0）（400,0）、（360,0）	19	10.821
3	（400,0）、（360,0）、（320,0）	19	18.119
4	（360,0）、（320,0）、（280,0）	17	75.296
5	（320,0）、（280,0）、（240,0）	16	13.975
6	（280,0）、（240,0）、（200,0）	16	23.517
7	（240,0）、（200,0）、（160,0）	15	86.578
8	（200,0）、（160,0）、（120,0）	15	64.166
9	（160,0）、（120,0）、（80,0）	15	78.128
10	（120,0）、（80,0）、（40,0）	16	25.136

加入 3 架新装备后，10 次布置在不同初始位置对应的平均迭代次数为 16.7 次，平均适应度为 45.221。

不断增加了新装备的数量得到表。

表 3 不同数量新装备任务完成时平均迭代次数及平均适应度

序号	新装备数量	平均迭代次数	平均适应度
1	0	29.000	107.862
2	1	18.083	58.762
3	2	17.182	64.746
4	3	16.700	45.221
5	4	16.222	64.286
6	5	15.625	81.475
7	6	15.143	99.021
8	7	15.000	86.674
9	8	15.000	75.769
10	9	15.000	71.861
11	10	15.000	67.920
12	11	15.000	63.734
13	12	15.000	66.341

通过表中数据可知，如果在老装备群加入一架新装备可以极大的提升整体效能。反过来如果在新装备群中放入一架老装备，则对整体效能的影响非常小。此外从表中可以发现，新装备数量为 11 时反而比 12 架新装备效能高。分析原因可能是由于装备到达目标点后因为受惯性影响会在目标点周围摆动，而老装备因为其速度低，摆动幅度小，使得收敛性更好。

如果无人装备不是以组为单位并排布置，而是拆分布置是否会对最终结果产生影响。本文同样以 3 架新无人装备为例，为简化排布结果，将 3 架无人机等间距布置最终得到结果见表

表 4 3 架新装备均匀排布任务完成时迭代次数及适应度

序号	新装备初始位置	迭代次数	适应度
1	（480,0）、（320,0）、（160,0）	15.000	130.184
2	（440,0）、（280,0）、（120,0）	15.000	66.394
3	（400,0）、（240,0）、（80,0）	16.000	4.368
4	（360,0）、（200,0）、（40,0）	15.000	78.657

表中 4 组数据的平均迭代次数为 15.25 次，平均适应度为 69.901。相较于 3 架新装备并排布置，分散布置时结果更稳定，效能更高。

5 结论

（1）新老无人装备进行协同侦查打击时，新装备的加入能够给整体的作战效能带来极大的提升。

（2）仅需 1 架新无人装备，就能为老无人装备整体效能带来显著提升；相反新无人装备作战群中加入 1 架老无人装备，则不会对整体效能带来多大影响。

（3）新老无人装备协同作战时，新装备分散布置在老装备之中的效果要优于，新老装备各自编组协同作战。

参考文献

[1] 王梓昊,余志锋.俄无人机领域作战能力生成路径探析[C]//中国指挥与控制学会（Chinese Institute of Command and Control）.第十三届中国指挥控制大会论文集（下册）.国防科技大学电子对抗学院;,2025:194-197.

[2] 孙绍芳,鲁亚飞,邵帅,等.战术侦察无人机装备应用发展综述[J/OL].航空工程进展,1-15[2025-09-28].

[3] 李立治,韩俊,陈聪,等.地面无人装备发展综述[J].汽车实用技术,2025,50(13):156-162.

[4] 刘建新,沈长征,郭伟,等.浅析无人机蜂群在电子战中的作战应用[C]//中国指挥与控制学会（Chinese Institute of Command and Control）.第十三届中国指挥控制大会论文集（下册）.国防科技大学电子对抗学院;中国人民解放军31648部队;中国人民解放军31631部队;,2025:213-216..

[5] 于兆文.无人机蜂群对舰突击场景设计方法[C]//中国指挥与控制学会（Chinese Institute of Command and Control）.第十三届中国指挥控制大会论文集（上册）.国防科技大学电子对抗学院;,2025:158-162.

[6] 岳东峰,高甜容.智能化无人保障装备的发展综述[J].电子技术,2024,53(07):116-117.

[7] 曲林涛,彭京徽,赵英泽,等.异构多智能体（无人艇-机）协同策略研究[J/OL].火力与指挥控制,1-7[2025-09-28].

[8] 吕金虎,则坤睿,樊简,等.无人集群系统协同定位研究进展与展望[J/OL].中国科学:信息科学,1-24[2025-09-29].