

基于博弈论组合赋权的无人机信息感知效能评估研究

商帅帅^{1,2}, 屠义强^{1*}, 王国顺¹, 张智隆¹, 顾德平²

¹中国人民解放军陆军工程大学野战工程学院, 江苏 南京

²中国人民解放军31693部队, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2026年6月27日; 录用日期: 2026年7月20日; 发布日期: 2026年7月28日

摘 要

针对无人机信息感知效能评估的需求, 从情报获取、平台适应、情报产出与体系贡献四个方面建立了指标体系, 结合层次分析法与改进熵权法, 并引入博弈论方法求解最优组合权重。选取3款中型侦察无人机为评估对象, 以执行海上广域监视任务为例进行验证, 得出其综合效能分别为0.612、0.847、0.703, 比较各型无人机的优势与短板, 为无人机论证、选型提供量化分析工具。

关键词

无人机, 信息感知, AHP, 熵权法, 博弈论, 组合赋权

Evaluation of UAV Information Perception Effectiveness Based on Game Theory Combination Weighting

Shuaishuai Shang^{1,2}, Yiqiang Tu^{1*}, Guoshun Wang¹, Zhilong Zhang¹, Deping Gu²

¹College of Field Engineering, Army Engineering University of PLA, Nanjing Jiangsu

²Unit 31693 of the Chinese People's Liberation Army, Harbin Heilongjiang

Received: June 27, 2026; accepted: July 20, 2026; published: July 28, 2026

Abstract

To meet the needs of UAV information perception effectiveness evaluation, an index system is

*通讯作者。

文章引用: 商帅帅, 屠义强, 王国顺, 张智隆, 顾德平. 基于博弈论组合赋权的无人机信息感知效能评估研究[J]. 建模与仿真, 2026, 15(7): 88-99. DOI: 10.12677/mos.2026.157110

established from four aspects: intelligence acquisition, platform adaptation, intelligence output and system contribution. AHP and improved entropy weight method are combined, and game theory is introduced to solve the optimal combination weight. Three types of medium reconnaissance UAVs are selected as evaluation objects, and their comprehensive effectiveness is 0.612, 0.847 and 0.703 respectively. The advantages and shortcomings of each type of UAV are compared, which provides quantitative analysis tools for UAV demonstration and selection.

Keywords

UAV, Information Perception, AHP, Entropy Weight Method, Game Theory, Combination Weighting

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,对无人机信息感知能力进行系统、精确、可量化的评估,已经成为指导无人机性能指标论证的迫切需求。无人机信息感知效能评估是一个典型的多属性、多准则复杂系统评价问题[1],涉及平台性能、传感器技术、数据通信、信息处理及体系融合等诸多方面[2],其评估过程定性分析与定量分析交织、主观经验与客观数据并存。因而探索一种能够有效融合主客观信息的评估方法,具有重要的理论与现实意义。

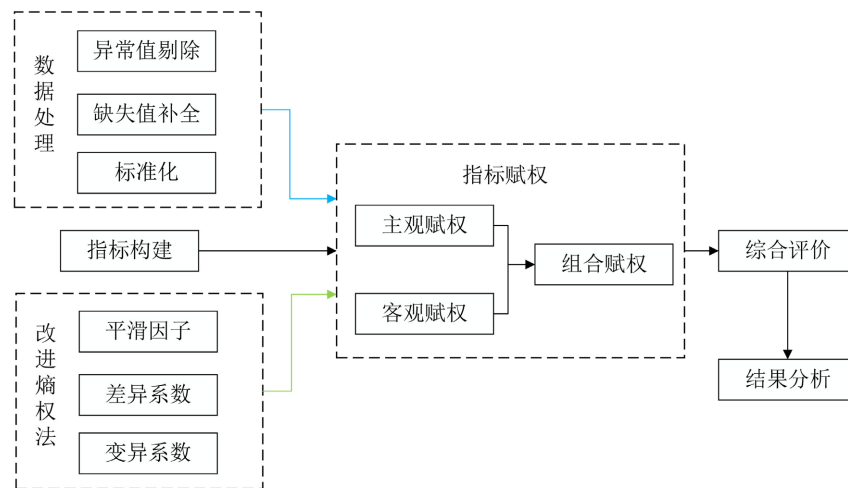


Figure 1. UAV information perception effectiveness evaluation process

图 1. 无人机信息感知效能评估流程

无人机信息感知效能评估方法主要包括层次分析法、熵权法、灰色关联度、模糊评判等[3]-[5]。文献[6]系统阐述了军事装备效能评估的基础理论和方法体系,为装备效能评估提供了方法路径。文献[7]基于作战环理论,从考虑成本因素的角度,提出了面向多任务的体系贡献率评估方法。文献[8]剔除无人机侦察效能评估体系中的冗余因素,利用 BP 神经网络构建了评估模型。文献[9]在传统 ADC 理论上,引入保障因子和战场环境因子,利用层次分析法和模糊综合评判法构建了侦察无人机系统的作战效能评估模型。文献[10]利用灰色层次分析法构建了无人机侦察载荷效能评估模型,给出了载荷间两两协同效能评

估的方法。通过对现有文献的梳理感到, 无人机信息感知效能评估越来越与作战任务紧密耦合, 强调能力到任务的映射关系。研究方法上多采用主观与客观结合的综合评估方法。但多数组合赋权缺乏对主客观权重内在冲突进行数学建模与优化协调的理论深度。

博弈论又称决策论, 是研究决策主体之间相互作用与均衡的经典理论[11], 为寻求双方决策最优组合提供了可靠的数学策略[12], 但将该方法运用在无人机信息感知效能评估还比较少见。本文采用博弈论方法进行组合赋权, 将主、客观赋权方法视为博弈中的两个理性决策主体, 使权重冲突转化为数学优化问题。首先通过分析无人机信息感知的影响因素, 分析无人机性能和运用环境之间的关系, 并咨询部队专家, 构建了一个立足层次清晰、逻辑合理的无人机信息感知效能评估指标体系。其次利用层次分析法和熵权法对各指标进行赋权。通过对熵权法进行改进, 增强了指标差异显著时的权重响应能力, 进一步提升客观权重的区分度与合理性, 使客观赋权结果更符合数据实际分布特征。然后建立组合赋权模型, 通过求解该模型得到的最优组合, 实现主客观权重的合理赋权。最后通过实例分析, 验证评估模型的有效性, 并展示其作为装备能力评估工具的实用价值。评估流程如图1所示。

2. 无人机信息感知效能评估指标体系构建

无人机侦察主要利用自身携带的可见光、雷达等任务载荷对信息进行感知。影响无人机侦察的因素主要有运用环境、人为操作、无人机平台及任务载荷性能等。本文立足无人机及其任务载荷装备性能, 依据系统全面、相对独立、可量化、可操作的原则, 结合任务需求, 参考相关文献[13][14], 构建无人机信息感知效能评估指标体系, 如图2所示。

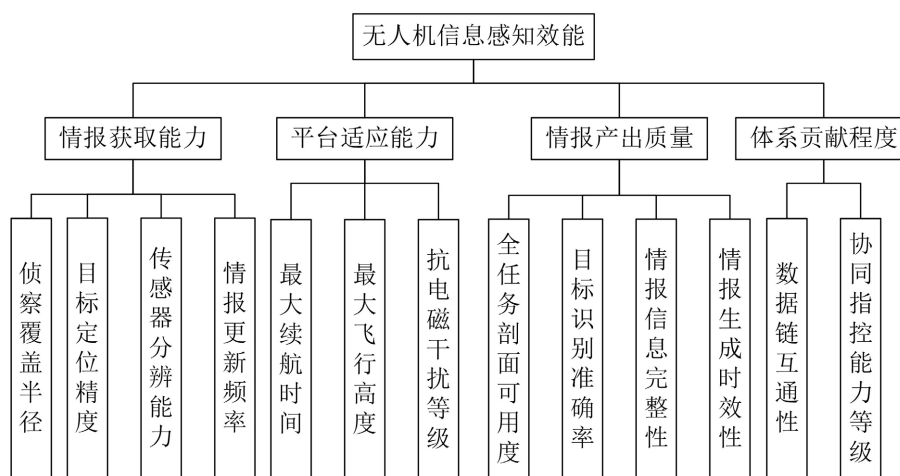


Figure 2. Evaluation index system of UAV information perception effectiveness

图2. 无人机信息感知效能评估指标体系

3. 无人机信息感知效能评估模型建立

3.1. 层次分析法计算权重

3.1.1. 构造判断矩阵

采用1~9标度法对同层级下各指标的相对重要程度进行两两比较, 形成判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。

3.1.2. 计算指标权重

对判断矩阵进行归一化、行求和、归一化处理, 计算得到指标初始权重 $W^s = (w_1^s, w_2^s, \dots, w_n^s)^T$, 公式:

$$w^s = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i} \quad (1)$$

3.1.3. 一致性检验

进行一致性检验，对判断矩阵的合理性进行检验，公式：

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW^s)_i}{w_i}, \quad CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}, \quad CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

式中 $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵最大特征根； CI 为一致性指标； RI 平均随机一致性指标，其值与判断矩阵的阶数 n 有关，可通过查表获得； CR 为随机一致性比率。当 $CR < 0.1$ 时，认为判断矩阵一致性可接受，权重结果有效；若 $CR \geq 0.1$ ，需重新修正专家打分，直至检验合格。

3.2. 改进熵权法计算权重

通常利用熵权法计算权重时，如果各指标之间的数值差异较小，容易导致计算的权重结果出现失真，难以准确反映各指标的实际重要性[15]。针对这一局限，本文利用变异系数进一步优化指标的区分度，增强评价结果的合理性。

3.2.1. 指标数据预处理

由于各指标物理意义、量纲和优劣取向(效益型、成本型)不同，首先对数据进行异常值剔除、缺失值补全、标准化等预处理。设原始指标值为 x_{ij} ，表示第 i 个对象在第 j 个指标的值，标准化后值为 $r_{ij} \in [0,1]$ 。

$$\text{效益型指标: } r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

$$\text{成本型指标: } r_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

为规避后续熵值计算中可能出现的对数无定义问题，对标准化数据引入平滑因子 δ ：

$$r'_{ij} = r_{ij} + \delta \quad (3)$$

r'_{ij} 为标准化并平滑后的数据，其中 $\delta = 10^{-6}$ 。

3.2.2. 计算指标比重

$$p_{ij} = \frac{r'_{ij}}{\sum_{i=1}^m r'_{ij}} \quad (4)$$

p_{ij} 为第 i 个对象在第 j 项指标下的比重，反映了某型无人机特定性能指标上，对于所有被评估装备的相对水平。

3.2.3. 计算信息熵

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (5)$$

e_j 第 j 项指标的信息熵。当 $p_{ij} = 0$ 时， $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

3.2.4. 计算差异系数

$$g_j = 1 - e_j \quad (6)$$

g_j 为第 j 项指标的差异系数, g_j 越大表示该指标数据差异越大, 在评估中应赋予更大权重。

3.2.5. 计算变异系数

为解决高分值数据熵值普遍偏小、区分度不足的问题, 引入指标变异系数以增强区分度:

$$v_j = \frac{\sigma_j}{\bar{r}_j + \epsilon} \quad (7)$$

其中 v_j 为第 j 项指标的变异系数, 反映了数据的相对离散程度。 v_j 有效的放大了指标之间的差异程度, 适用于各指标均值差异较大的场景。 σ_j 、 $\bar{r}_j$ 分别为第 j 项指标的标准差和均值, ϵ 为极小正数以防除零。

3.2.6. 客观权重计算

将差异系数、变异系数结合, 构建客观权重:

$$w_j^o = \frac{g_j \cdot v_j}{\sum_{k=1}^n g_k \cdot v_k} \quad (8)$$

3.3. 博弈论计算权重

层次分析法依赖专家或决策者的经验判断, 容易受到人为主观因素的影响。熵权法是客观数据的综合分析, 对指标实际意义和主观重要性缺乏考量, 某些关键指标在整体评价体系中的重要地位容易被忽略。本文采用博弈论纳什议价解(Nash Bargaining Solution, NBS)的方法, 将主观赋权法与客观赋权法视为两个博弈主体, 求解最优组合权重, 实现主客观信息的均衡融合。

3.3.1. 纳什议价解

设主观权重向量为 $W^s = (w_1^s, w_2^s, \dots, w_n^s)^T$, 客观权重向量为 $W^o = (w_1^o, w_2^o, \dots, w_n^o)^T$, 组合权重向量 w_c 为:

$$W^c = \alpha W^s + \beta W^o \quad (9)$$

其中 α , β 为主客观权重的组合系数, 且 $\alpha + \beta = 1$, $\alpha, \beta > 0$ 。

将两个赋权方法视为博弈双方, 当威胁点取 $(0,0)$, 表示不采纳任何一方权重。博弈双方的收益定义为组合权重与各自权重的余弦相似度, 即:

$$u_1(W^c) = \frac{\langle W^c, W^s \rangle}{\|W^c\| \cdot \|W^s\|}, \quad u_2(W^c) = \frac{\langle W^c, W^o \rangle}{\|W^c\| \cdot \|W^o\|}$$

根据纳什公理体系, 最优组合权重应最大化纳什积:

$$\max_{\alpha \in [0,1]} u_1(W^c) \cdot u_2(W^c) \quad (10)$$

3.3.2. 最优组合系数求解

将 $W^c = \alpha W^s + (1-\alpha)W^o$ 代入式(10), 约去公共分母 $\|W^c\|^2$ 后, 最大化目标等价于:

$$\max_{\alpha} \left[\alpha \|W^s\|^2 + (1-\alpha) \langle W^s, W^o \rangle \right] \cdot \left[\alpha \langle W^s, W^o \rangle + (1-\alpha) \|W^o\|^2 \right]$$

对 α 求一阶导数并令其为 0, 整理可得最优组合系数:

$$\alpha^* = \frac{\sum_{j=1}^n (w_j^o)^2}{\sum_{j=1}^n (w_j^s)^2 + \sum_{j=1}^n (w_j^o)^2}, \quad \beta^* = 1 - \alpha^* \quad (11)$$

将 α^* 、 β^* 代入式(9), 即得最终组合权重向量 W^c 。

3.4. 综合效能评估

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j^c \cdot r_{ij} \tag{12}$$

S_i 为第*i*个评估对象的综合得分， $S_i \in [0,1]$ ， w_j^c 为第*j*个指标的组合权重， r_{ij} 为标准化后的指标值。
为检验评估结果的可靠性，通过调整组合系数 α ， β 或关键指标权重，观察综合效能排序或得分是否发生显著变化，进行灵敏度分析。通过对比每个指标对总效能的贡献度 $w_j^c \cdot r_{ij}$ ，识别出提升综合效能的优势及短板指标，为装备改进提供方向。

4. 实例验证与分析

4.1. 评估想定设置

为检验评估模型的有效性，选取三款中型侦察无人机作为评估对象，分别记为 UAV-A、UAV-B、UAV-C，关键性能指标数据如表 1 所示。在海上广域监视任务想定下，进行信息感知效能评估。该想定要求无人机在复杂海域环境下，独立执行对海面目标的广域搜索、持续跟踪与情报生成，主要任务需求如表 2 所示。由于无人机性能指标量纲和优劣取向不同，首先对原始数据进行预处理，得到标准化值矩阵，如表 3 所示。三款无人机在平台设计、载荷配置和体系集成方面各有侧重，UAV-A 突出长航时与大覆盖能力，UAV-B 强调情报处理精度与数据链融合，UAV-C 定位于多用途均衡配置。

Table 1. Initial data of three UAVs for information perception effectiveness evaluation
表 1. 三款无人机信息感知效能评估指标原始数据

指标	UAV-A	UAV-B	UAV-C
侦察覆盖半径(km)	210	165	180
目标定位精度(m)	22	12	18
传感器分辨率(m)	0.45	0.38	0.42
情报更新频率(次/min)	2.8	3.5	3.0
最大续航时间(h)	28	18	22
最大飞行高度(m)	6800	6200	6500
抗电磁干扰等级(级)	4	5	4
全任务剖面可用度	0.88	0.95	0.91
目标识别准确率	0.84	0.96	0.90
情报信息完整性	0.89	0.94	0.92
情报生成时效性(s)	45	28	36
数据链互通性(级)	4	5	4
协同制空能力等级(级)	4	5	4

Table 2. Requirements for main tasks of UAV maritime wide-area surveillance
表 2. 无人机海上广域监视主要任务需求表

任务指标	需求描述
大范围搜索能力	能够在广阔海域快速发现可疑目标
精确识别定位	能够准确识别目标类型并提供精确坐标
持久监视能力	能够对重点区域实施长时间持续监视
抗干扰能力	能够在复杂电磁环境下正常工作
体系融合能力	能够与海军指挥系统无缝对接

Table 3. Standardized values of three UAV evaluation indicators
表 3. 三款无人机评估指标标准化值

指标	UAV-A	UAV-B	UAV-C
侦察覆盖半径	1.000	0.333	0.556
目标定位精度	0.455	1.000	0.636
传感器分辨率	1.000	0.429	0.714
情报更新频率	0.583	1.000	0.667
最大续航时间	1.000	0.000	0.400
最大飞行高度	1.000	0.000	0.500
抗电磁干扰等级	0.000	1.000	0.000
全任务剖面可用度	0.000	1.000	0.429
目标识别准确率	0.000	1.000	0.500
情报信息完整性	0.000	1.000	0.600
情报生成时效性	0.413	1.000	0.630
数据链互通性	0.000	1.000	0.000
协同制空能力等级	0.000	1.000	0.000

4.2. 权重计算

4.2.1. AHP 计算主观权重

邀请 5 名无人机装备论证领域的专家，按照 1~9 标度法对各层级指标进行两两比较，经一致性检验后，得到主观权重向量，如表 4 所示。从主观权重分布来看，专家针对海上广域监视任务，对数据链互通性(0.092)、目标识别准确率(0.087)、最大续航时间(0.084)和侦察覆盖半径(0.082)赋予了较高权重，体现了体系融合、情报质量与持久监视能力在任务中处于核心地位。

4.2.2. 改进熵权法计算客观权重

依据表 3 中三款无人机的标准化数据，按公式(3)~(8)计算各指标的改进熵权。首先对各指标数据进行平滑处理，计算信息熵、差异系数与变异系数，得到客观权重，如表 4 所示。在客观权重中，最大续航时间(0.095)、侦察覆盖半径(0.091)和目标定位精度(0.088)占比相对靠前，表明这三项指标在三款无人机之间的数据离散程度较大，区分能力较强；而抗电磁干扰等级、数据链互通性等指标由于三款机型中取值相同，变异系数较小，客观权重相应偏低。

4.2.3. 博弈论组合赋权

将主观权重 W^s 与客观权重 W^o 代入公式(9)~(11)，求解最优组合系数。计算得 $\alpha^* = 0.482$ ， $\beta^* = 0.518$ ，即组合权重中主观部分占 48.2%，客观部分占 51.8%。组合权重如表 4 所示。可以看出，博弈论组合赋权既保留了专家对数据链互通性、目标识别准确率的优先考量，又吸收了客观数据中续航时间、覆盖半径的显著差异，实现了主客观信息的融合。

Table 4. Weights of indicators and combination weights
表 4. 各指标权重及组合权重

指标	主观权重	客观权重	组合权重
侦察覆盖半径	0.082	0.091	0.087
目标定位精度	0.076	0.088	0.082

续表

传感器分辨率	0.065	0.072	0.069
情报更新频率	0.071	0.075	0.073
最大续航时间	0.084	0.095	0.090
最大飞行高度	0.058	0.062	0.060
抗电磁干扰等级	0.070	0.048	0.059
全任务剖面可用度	0.066	0.070	0.068
目标识别准确率	0.087	0.082	0.084
情报信息完整性	0.063	0.069	0.066
情报生成时效性	0.062	0.071	0.067
数据链互通性	0.092	0.049	0.070
协同制空能力等级	0.084	0.058	0.071

4.3. 综合效能评估

将表 2 中的标准化值与表 3 中的组合权重代入公式(12)，计算三款无人机的综合效能值，如表 5 所示。为直观展现各指标对综合效能的贡献，利用堆积条形图、雷达图及柱状图进行分析。

Table 5. Results of comprehensive effectiveness evaluation of three types of UAV
表 5. 三款无人机综合效能评估结果

无人机型号	综合效能值	排序
UAV-A	0.612	3
UAV-B	0.847	1
UAV-C	0.703	2

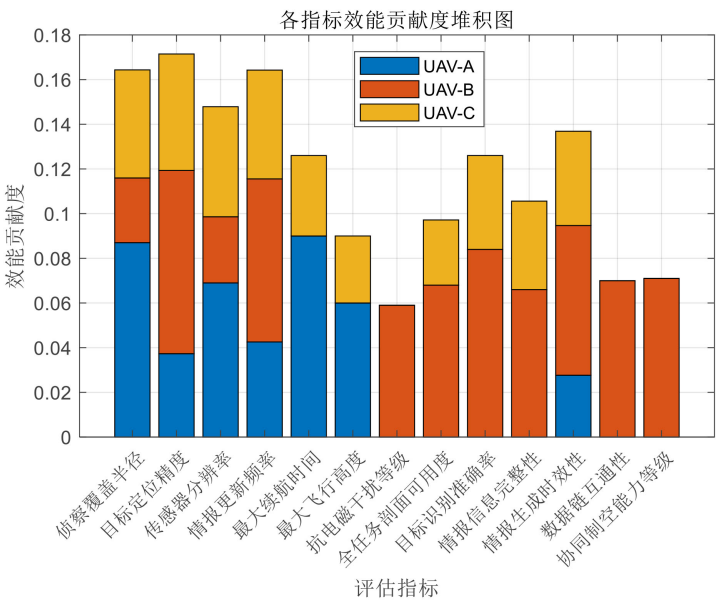


Figure 3. Performance contribution accumulation bar chart
图 3. 效能贡献度堆积条形图

通过图3可知, UAV-B 的贡献主要来自目标识别准确率、目标定位精度、情报更新频率、数据链互通性等, 而最大续航时间和侦察覆盖半径贡献几乎为零; UAV-A 的贡献则集中在侦察覆盖半径、最大续航时间、传感器分辨率等平台能力指标, 情报与体系类指标贡献极低; UAV-C 各项贡献较为均匀, 没有突出项或者零贡献项。

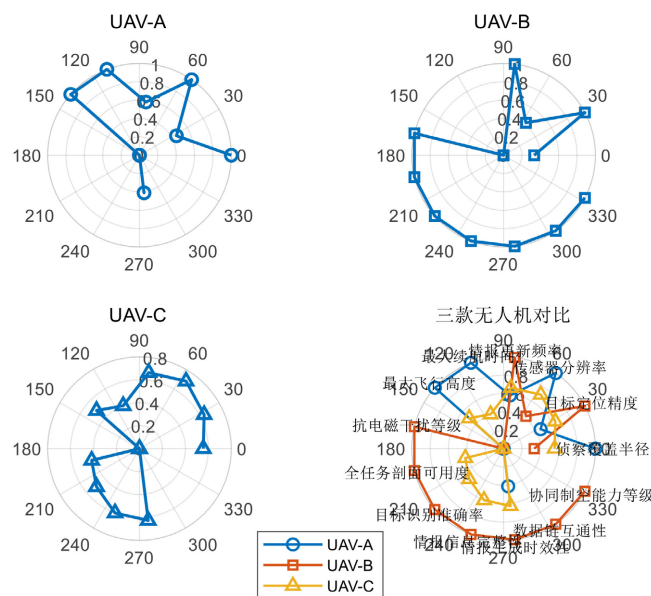


Figure 4. Radar map
图4. 雷达图

在雷达图4中, UAV-B 在目标定位精度、抗干扰、情报产出、数据链等8个指标上处于外圈, 性能较好, 仅在续航和覆盖半径上内缩; UAV-A 恰好相反, 在续航和覆盖半径上外凸, 其余指标内缩; UAV-C 整体形状接近圆形, 无极端突出或凹陷。

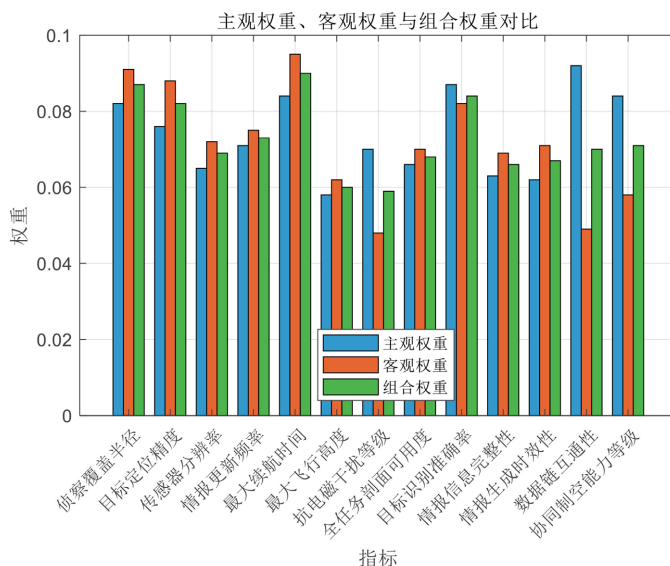


Figure 5. Histogram comparing subjective, objective, and combined weights
图5. 主观、客观、组合权重对比柱状图

通过图 5 可见, 组合权重曲线介于主客观之间。与主观权重更接近的指标, 更加倾向于专家偏好, 如数据链互通性、目标识别准确率。与客观权重更接近的指标则更侧重数据差异, 如最大续航时间、侦察覆盖半径。

4.4. 结果分析

4.4.1. 综合效能分析

UAV-B 综合效能为 0.847, 大幅领先 UAV-C (0.703) 和 UAV-A (0.612)。这主要是由任务需求与装备能力匹配度决定的。海上广域监视任务对信息探知要求比较高, 不仅要看到目标, 还要准确识别、持续跟踪并及时上报。UAV-B 虽然续航和覆盖半径在三款无人机中偏弱, 但在目标定位精度、识别准确率、情报更新频率、数据链互通性等关键信息质量指标上全部达到满分。在组合权重体系中, 这些指标的权重总和达到 0.379, 远超过续航 + 覆盖半径的权重和。因此 UAV-B 凭借信息优势弥补了平台航程短板。

UAV-A 虽然续航和覆盖半径占优, 权重为 0.177, 但在信息质量相关的 6 个指标上标准化值均低于 0.455, 综合效能仅为 0.612。这说明在复杂环境下, 单纯强调平台物理性能, 忽视信息处理与体系集成, 难以取得优势。

UAV-C 综合效能处于中间为 0.703, 各项指标标准化值在 0.4~0.714 之间波动, 没有极端短板但也没有显著长板。这种均衡式配置在任务需求明确, 且偏向某几个关键能力时, 往往不如专业型装备表现突出。

4.4.2. 贡献度分解分析各型无人机的改进路径

以 UAV-B 为例, 它的效能损失主要来源于最大续航时间和侦察覆盖半径, 这两项指标的贡献度分别为 0、0.029。若要进一步提升综合效能, 应把提升续航能力和扩大侦察覆盖半径作为优先改进的方向。UAV-B 如果继续在目标识别准确率上改进的话, 装备自身的短板会限制能力发挥, 失去改进效益。对于 UAV-A 来说, 如果将数据链互通性和目标识别准确率从 0 提升至中等水平, 综合效能可增长约 0.077, 超过其他指标的改进空间。对 UAV-C 贡献度分析显示, 它最低的三项指标分别为抗电磁干扰等级、数据链互通性、最大续航时间, 提升抗干扰和数据链能力可带来较大效能增益, 是改进无人机的优先项。

贡献度分解明确了各型无人机的改进方向, 还要综合考虑成本效益、技术可行性与性能制衡等方面。以 UAV-B 为例, 提升续航能力可通过增大机内油箱容量或换装更省油的涡桨发动机实现, 但伴随着机体结构改动, 研发与改造成本较高。短期内可通过优化任务规划来弥补单机续航不足, 提高成本效益, 如组织多机轮换、空中待机策略; 提升侦察覆盖半径通常需要增大天线孔径或提高发射功率, 但这会增加载荷重量和能耗, 压缩续航时间或有效载荷能力。因此, 在后续装备改进中, 以贡献度分解结果为依据, 优先改进权重高、得分低的短板指标, 同时兼顾指标间的耦合关系, 避免单性能优化引发新的性能瓶颈。

4.5. 灵敏度分析与稳健性检验

Table 6. Comprehensive efficacy values and ranking under different α

表 6. 不同 α 下综合效能值与排序

α	UAV-A	UAV-B	UAV-C	排序
0.3	0.598	0.856	0.695	B > C > A
0.4	0.605	0.851	0.699	B > C > A
0.5	0.612	0.847	0.703	B > C > A
0.6	0.619	0.843	0.707	B > C > A
0.7	0.626	0.839	0.711	B > C > A

为系统检验博弈论组合赋权模型对主客观权重配比变化的敏感性,分别取主观权重系数 $\alpha=0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$, 计算三款无人机的综合效能值及排序, 计算结果如表 6 所示。

当 α 从 0.3 增至 0.7, UAV-A 效能值增加 4.7%, UAV-B 降低 2.0%, UAV-C 增加 2.3%。所有变化幅度均小于 5%, 排序均为 $B > C > A$, 说明模型对组合系数不敏感, 即使决策者对主客观权重的偏好存在较大分歧, 评估结论依然稳定可靠。

当 $\alpha=1$ 时, UAV-B 效能约为 0.86, UAV-A 约为 0.58; 当 $\alpha=0$ 时, UAV-B 效能约为 0.84, UAV-A 约为 0.62。排序仍为 $B > C > A$, 因此该模型具有较强的鲁棒性。

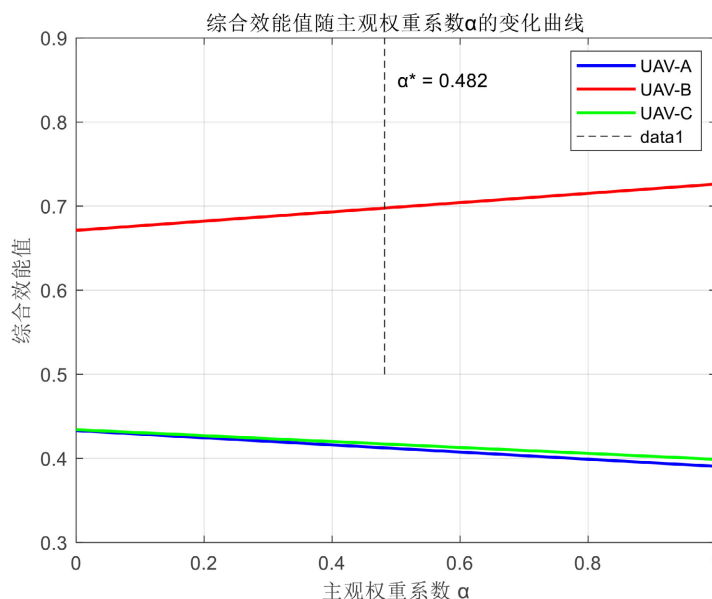


Figure 6. Curve of comprehensive efficiency value varying with α

图 6. 综合效能值随 α 变化曲线

通过图 6 可见, 在 $\alpha \in [0, 1]$ 内, 三条曲线平缓, UAV-B 始终在上方, UAV-C 居中, UAV-A 在下方, 没有交叉, 排序始终为 $B > C > A$, 不存在参数敏感区域。

4.6. 任务背景变化对评估结果的影响

以上评估结论以海上广域监视特定任务为背景。为进一步分析任务背景变化对评估结果的影响, 从以下两个方面进行扩展分析。

4.6.1. 目标任务分析

假定目标任务由广域监视转变为重点目标精确识别与跟踪, 如对特定舰船编队的持续监视, 则目标定位精度(权重 0.082)、目标识别准确率(权重 0.084)的重要性将进一步上升, 而侦察覆盖半径(权重 0.087)和最大续航时间(权重 0.090)的相对重要性下降。UAV-B 凭借其在信息质量指标上的满分表现, 优势将更加明显, UAV-A 的效能差距可能进一步拉大。

4.6.2. 环境条件分析

在强电磁对抗环境下执行任务, 抗电磁干扰等级(权重 0.059)和数据链互通性(权重 0.070)的实际效用将显著提升。UAV-B 在这两项指标上均达到满分, 其优势将进一步凸显。反之, 在无电磁对抗的侦察环境中, 这两项指标的区分度降低, UAV-A 的续航优势得到更好发挥。

综上所述, UAV-B 在信息密集型任务中具有显著优势, 但任务重点从信息质量转向区域覆盖, 如大面积搜索侦察, UAV-A 的竞争力将有所提升。因此, 本文的评估结论主要适用于强调信息质量与体系融合的侦察监视任务。对于以广域搜索为主的任务, 主观权重重新分配, 综合效能评估结果随之改变, 从而影响执行任务的无人机选型。

5. 结论与展望

本文以无人机信息感知效能评估中主客观权重融合为重点, 构建了涵盖指标体系、主客观赋权及博弈论组合优化的评估模型。以三款中型侦察无人机的对比评估为例, 得出 UAV-B 凭借信息质量优势弥补了航程短板, 综合效能最优为 0.847; UAV-C 各项性能均衡, 但缺乏突出点, 综合效能为 0.703; UAV-A 物理性能虽优, 但体系融合能力不足, 导致综合效能最低为 0.612。尽管所构建的模型在静态评估中展现出较好的有效性与实用性, 但研究仍存在进一步深化和拓展的空间, 下一步研究可从动态效能演化、不确定性处理、与 C⁴ISR 系统集成等方向展开。

参考文献

- [1] 赵子俊, 陈士涛, 贺维艳, 等. 有人/无人机协同作战效能智能评估方法[J/OL]. 航空学报, 1-10. <https://link.cnki.net/urlid/11.1929.V.20251216.0900.002>, 2026-06-29.
- [2] 赵贝贝, 王方博, 马红侠, 等. 基于系统动力学的无人机集群空战效能评估[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2025, 43(2): 327-337.
- [3] 康巍, 凌海风, 褚德天, 等. 基于 AHP-熵权法的复杂山地环境无人机作战效能评估[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(10): 320-329.
- [4] 李宇辰, 王元靖, 刘光远, 等. 基于 DHDGF 方法的无人机编队效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2025, 50(9): 82-89.
- [5] 姜权权, 陈新中, 李沛, 等. 基于模糊综合评判的无人机集群系统搜索效能评估[J]. 指挥信息系统与技术, 2025, 16(3): 58-62.
- [6] 燕雪峰, 张德平, 黄晓冬, 等. 面向任务的体系效能评估[M]. 北京: 电子工业出版社, 2021: 375.
- [7] 刘鹏, 赵丹玲, 谭跃进, 等. 面向多任务的武器装备体系贡献度评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(8): 1763-1770.
- [8] 何媛, 甘旭升, 涂从良, 等. 基于粗糙集和神经网络的无人机侦察效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2021, 46(3): 20-25.
- [9] 刘登攀, 寇昆湖, 王超, 等. 基于改进 ADC 法的侦察无人机作战效能评估[J]. 电光与控制, 2024, 31(4): 121-127.
- [10] 王晨, 谢文俊, 毛声, 等. 基于灰色层次分析法的多种载荷侦察效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(10): 177-182.
- [11] Fu, C. and Shi, Z. (2025) Analysis of Complex Network Attack and Defense Game Strategies under Uncertain Value Criterion. *Entropy*, **27**, Article 1066. <https://doi.org/10.3390/e27101066>
- [12] 李忠孝, 胡海洋, 吕琳. 面向跨域联合作战的博弈论及军事应用[J]. 指挥控制与仿真, 2026, 48(2): 15-29.
- [13] 齐智敏, 张海林, 杨鹏飞. 无人机集群协同侦察任务效能评估方法研究[J]. 舰船电子工程, 2023, 43(3): 124-127+182.
- [14] 陶杨. 自适应层次分析法在机载侦察设备作战效能评估中的应用[J]. 指挥与控制学报, 2018, 4(4): 339-342.
- [15] 陈健, 孟庆林. 基于主客观组合权重的编队对海作战案例检索方法研究[J]. 军事运筹与评估, 2024, 39(2): 38-43.