

一种基于直觉模糊权重影响非线性判定系统的武器装备体系作战效能评估方法

高飞¹ 何为凯¹ 毕文豪²

¹ 山东交通学院航空学院, 山东 济南 250357

² 西北工业大学航空学院, 陕西 西安 710029

摘要: 体系作战已成为信息化战争下主要的作战模式。在体系作战中, 各类武器装备相互交联、相互影响, 以体系的整体优势完成作战使命, 但武器装备体系的复杂性使得如何实现任务、能力、装备交联影响下的武器装备评估成为一大难题。本文提出了一种基于直觉模糊权重影响非线性判定系统的武器装备体系作战效能评估方法, 采用直觉模糊集表达不确定环境下的各类评价信息。并采用权重影响非线性判定系统(WINGS)方法实现综合考虑任务、能力、装备等武器装备体系各元素自身重要程度和影响关系下的武器装备作战效能评估。仿真结果表明, 本文方法可有效在复杂体系作战环境下提供合理、可靠的武器装备体系作战效能评估结果, 且能有效处理评估中的不确定信息。

关键词: 武器装备评估; 权重影响非线性判定系统; 多属性决策; 直觉模糊集; 体系作战

1 引言

在信息化战场环境下, 典型作战模式正在由平台中心战向网络中心战转型, 体系作战成为主要的作战模式。在体系作战中, 各类武器装备互联、互通、互操作, 以体系整体的涌现行为完成作战使命。有效评估体系作战中各武器装备体系作战效能对于武器装备体系建设和武器装备设计、改进、应用、升级等至关重要。

传统效能评估方法包括基于仿真的方法和基于数据的方法。其中, 基于仿真的方法主要依赖基于 Agent 的方法、系统动力学模型等方法对武器装备系统进行仿真, 并以仿真结果为基础评估武器装备效能, 但这类方法局限于特定战场环境, 在体系作战的复杂环境下较难应用。基于数据的方法往往依赖于建立指标体系, 从武器装备整体的角度进行评估, 但传统方法主要针对平台中心战, 将其应用于体系作战仍存在以下难点:

(1) 体系作战涉及作战任务、作战能力等多方面因素, 要想评估武器装备在体系作战中的效能, 就必须要将武器装备置于体系整体的角度, 综合考虑其对各方面因素的影响。

(2) 体系作战的不确定性使得评估往往存在各类不确定信息, 如何合理、有效的表征各类

不确定信息以实现不确定环境下综合考虑专家经验、历史数据的武器装备评估对于武器装备体系作战效能评估至关重要。

为此, 本文结合直觉模糊集(IFS)和权重影响非线性判定系统(WINGS)方法, 提出了一种基于 IF-WINGS 的武器装备体系作战效能评估方法, 通过构建武器装备体系作战任务、作战能力、武器装备之间的权重影响关系矩阵, 实现了综合考虑武器装备体系交联关系的体系作战效能评估。本文主要有以下创新点:

(1) 本文首次结合了 WINGS 方法和 IFS, 通过采用 IFS 描述因素之间的权重和影响关系, 有效实现了不确定环境下的因素重要度分析。

(2) 本文提出了一种基于 TOPSIS 方法的评估方案排序方法, 通过引入正负理想解距离和相对逼近度, 有效解决了 WINGS 方法结果难以直接量化的难题。

(3) 本文提出了一种综合考虑任务、能力、装备及其关联关系的武器装备体系作战效能评估方法, 有效克服了传统评估方法单一、孤立的缺陷。

2 方法

随着现代战争越来越依赖于不同武器装备

Email: gaofei1995@hotmail.com (高飞), biwenhao@nwpu.edu.cn (毕文豪)

本文全文及算例请参考: Gao F, He W, Bi W. An intuitionistic fuzzy weighted influence non-linear gauge system for equipment evaluation under system-of-systems warfare environment[J]. Expert Systems with Applications, 2024, 238: 122187.

的集成,评估它们在武器装备体系中的性能和贡献变得至关重要。在体系作战背景下,作战使命的成功实现依赖于各种武器装备的无缝交互和互连。这种互连性延伸到设备必须完成的多项任务和功能。因此,这些任务、能力和武器装备之间出现了因果关系。例如,一台武器装备可能无法在未完成其先前任务的情况下执行其任务,或者某些功能可能对于特定任务的成功执行至关重要。鉴于这些相互关联的关系,有效地对设备组件之间的因果关系进行建模对于确保可靠和准确的评估至关重要。通过采用 IF-WINGS 方法,本文结合直觉模糊集来捕获专家判断中固有的不确定性和模糊性,从而能够更灵活地体现指标的权重和影响强度,以实现武器装备体系各项武器装备性能和影响进行全面评估。

在武器装备体系中,有 m 个武器装备,表示为 $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$ 。体系作战由 n 项任务(表示为 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$)和 k 项能力(表示为 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$)组成。需要强调的是,各种任务可能会相互影响,并且每个任务都可能受到多种能力的影响。类似地,每一项能力都可能受到一个或多个武器装备的影响。因此,可以使用因果关系图对整个武器装备体系进行有效建模。在因果关系图中,节点代表任务、能力和武器装备,这些节点之间的互连由箭头表示。这些箭头表示不同元素之间的因果关系和影响。为了对武器装备体系的不同装备进行评估,基于 IF-WINGS 的武器装备体系作战效能评估方法的流程描述如下。

步骤 1: 分析武器装备体系及其作战使命,明确武器装备体系涉及的相关武器装备(表示为 E)、任务(表示为 T)和能力(表示为 C)。

步骤 2: 分析任务和能力之间的映射,以及能力和武器装备之间的映射。使用因果关系图确定任务、能力和武器装备之间的相互依赖性和因果关系。以图 1 为例,考虑两个武器装备 E_1 和 E_2 、两项能力 C_1 和 C_2 以及两项任务 T_1 和 T_2 。从图 1 可以看出, C_1 同时受到 E_1 和 E_2 的影响,而 C_2 仅受到 E_1 的影响。此外, T_1 受 C_1 和 C_2 影响,而 T_2 受 T_1 、 C_1 和 C_2 影响。

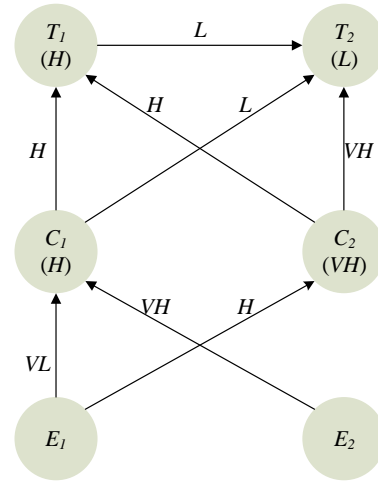


图 1 因果关系图示例

步骤 3: 通过因果关系图明确任务、能力和武器装备之间的相互关系,并确定元素的强度及其影响强度。例如,在图 1 中,可以根据专家判断或可用数据来评估武器装备、任务和能力的影响强度。

步骤 4: 利用不同元素的权重及其影响强度构造直观的模糊直接强度影响矩阵

$D = [d_{ij}]_{(m+n+k) \times (m+n+k)}$ 。矩阵 (μ_{ij}, ν_{ij}) 中的每个元素分别表示第 i 个元素和第 j 个元素之间的权重和影响强度,矩阵表达如下:

$$D = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, \nu_{11}) & (\mu_{12}, \nu_{12}) & \cdots & (\mu_{1(m+n+k)}, \nu_{1(m+n+k)}) \\ (\mu_{21}, \nu_{21}) & (\mu_{22}, \nu_{22}) & \cdots & (\mu_{2(m+n+k)}, \nu_{2(m+n+k)}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{(m+n+k)1}, \nu_{(m+n+k)1}) & (\mu_{(m+n+k)2}, \nu_{(m+n+k)2}) & \cdots & (\mu_{(m+n+k)(m+n+k)}, \nu_{(m+n+k)(m+n+k)}) \end{bmatrix}$$

其中, (μ_{ii}, ν_{ii}) 表示第 i 个元素的权重, (μ_{ij}, ν_{ij}) 表示第 i 个元素的对第 j 个元素的影响强度。需要注意的是,前 n 行和列代表任务,接下来的 k 行和列代表能力,其余行和列代表武器装备。

步骤 5: 使用 IFN 的得分函数构建期望直观模糊直接权重影响矩阵如下:

$$\hat{D} = [\hat{d}_{ij}]_{(m+n+k) \times (m+n+k)}$$

其中,

$$\hat{d}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\mu_{\hat{A}} - \nu_{\hat{A}} - \pi_{\hat{A}} \times \frac{\log_2(1 + \pi_{\hat{A}})}{100} + 1 \right)$$

步骤 6: 对期望直观模糊直接权重影响矩阵进行归一化,得到归一化直观模糊直接权重影响矩阵如下:

$$\tilde{D} = [\tilde{d}_{ij}]_{(m+n+k) \times (m+n+k)}$$

其中,

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{\hat{d}_{ij}}{s}$$

$$s = \sum_{i=1}^{m+n+k} \sum_{j=1}^{m+n+k} \hat{d}_{ij}$$

步骤 7: 使用归一化直觉模糊直接权重影响矩阵计算总直觉模糊权重影响矩阵为:

$$T = \tilde{D} \times (I - \tilde{D})^{-1}$$

步骤 8: 根据总直觉模糊权重影响矩阵 T 中的元素, 计算每个元素的总影响分数 r_i 和总接受分数 c_j 。总影响分数 r_i 通过计算矩阵中第 i 行的总和获得, 而总接受分数 c_j 通过计算矩阵中第 j 列的总和获得:

$$r_i = \sum_{j=1}^{m+n+k} t_{ij}$$

$$c_j = \sum_{i=1}^{m+n+k} t_{ij}$$

步骤 9: 根据总参与度 $(r_i + c_i)$ 和角色 $(r_i - c_i)$ 值, 使用欧几里德距离确定每个替代方案与最佳和最差解决方案的距离, 分别表示为 d^+ 和 d^- 。然后, 通过使用 $(r_i + c_i)$ 作为水平维度和 $(r_i - c_i)$ 作为垂直维度, 在二维空间中确定不同的武器装备。

武器装备越接近最佳解决方案且距离最差解决方案越远, 该武器装备就越好。因此, 基于 TOPSIS 的概念, 计算各武器装备的相对接近度如下:

$$RC_i = \frac{d^-}{d^+ + d^-}$$

其中, RC_i 表示第 i 个武器装备的相对接近度。

最后, 根据不同武器装备的相对接近度对它们进行排名, 值越高表示该武器装备越好。该排名为体系作战环境下的武器装备提供了可靠、有效的评价。