

基于超网络的合成旅武器装备体系贡献率评估

曹冠平¹, 王淑卉², 楚敏南³, 陈财森²

(1. 陆军步兵学院石家庄校区, 石家庄, 050051; 2. 陆军装甲兵学院教研保障中心, 北京, 100072;

3. 陆军参谋部军事训练中心, 北京, 100042)

摘要 为全面客观衡量武器装备体系贡献率, 从体系的视角, 结合合成旅武器装备体系复杂多维的特点, 提出基于超网络的合成旅武器装备体系贡献率评估方法。首先, 构建合成旅武器装备体系超网络模型, 根据装备功能和交互信息类型分别对装备节点和节点关系进行建模; 然后, 从信息支撑能力、指挥决策能力、火力打击能力3个维度衡量装备体系作战能力, 运用装备体系作战网络包含的作战环数衡量装备体系涌现性, 并综合体系能力和作战环数设计贡献率评估指标; 最后, 以合成旅遂行对敌指控中心火力打击任务为例, 分析FPV无人机对合成旅装备体系的贡献率情况, 有效验证了方法的可行性。研究成果可为合成旅武器装备的优化配置和发展建设提供理论支撑。

关键词 合成旅; 武器装备体系; 超网络; 贡献率评估

DOI 10.3969/j.issn.2097-1915.2025.03.008

中图分类号 TN711; E92 **文献标志码** A **文章编号** 2097-1915(2025)03-0062-07

A Contribution Evaluation Method in Weaponry Systems for Synthetic Brigade Based on Super-Network

CAO Guanping¹, WANG Shuhui², CHU Minnan³, CHEN Caisen²

(1. Department of Shijiazhuang, Army Infantry School, Shijiazhuang 050051, China;

2. Teaching and Research Support Center, Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China;

3. Army Staff Military Training Center, Beijing 100042, China)

Abstract In view of weaponry systems, and in consideration of complex and multidimensional characteristics in weaponry systems for a synthetic brigade, a contribution evaluation method is proposed for a synthetic brigade in weaponry systems based on super-network. Firstly, a super-network model of weaponry systems for the synthetic brigade is constructed, and the weapon nodes and nodes' relationships in the systems are modeled respectively based on their functions and types of interactive information, and then, the combat capability of the weaponry system is measured by using the information support capability, command decision-making capability and firepower strike capability, the emergence of weaponry systems is evaluated by using the number of operation loops included in the combat network, and an index is established based on the capability of weaponry systems and the numbers of operation loop. Finally, taking the

收稿日期: 2024-09-15

基金项目: 国家自然科学基金(U1836101)

作者简介: 曹冠平(1984—), 男, 湖南郴州人, 讲师, 博士, 研究方向为作战效能评估和装备运用。E-mail: 260029602@qq.com

通信作者: 王淑卉(1974—), 女, 内蒙古包头人, 副编审, 研究方向为装备体系建设和运用。E-mail: greenleaf999@163.com

引用格式: 曹冠平, 王淑卉, 楚敏南, 等. 基于超网络的合成旅武器装备体系贡献率评估[J]. 空军工程大学学报, 2025, 26(3): 62-68. CAO Guanping, WANG Shuhui, CHU Minnan, et al. A Contribution Evaluation Method in Weaponry Systems for Synthetic Brigade Based on Super-Network[J]. Journal of Air Force Engineering University, 2025, 26(3): 62-68.

firepower strike at the enemy command center by a certain synthetic brigade as an example, the contribution rate of FPV drone to the weaponry systems is analyzed, and the feasibility of the method is verified, providing a theoretical support for the optimization configuration and development in weaponry systems to a synthetic brigade.

Key words synthetic brigade; weaponry system; super-network; contribution evaluation

合成旅作为陆军的核心力量,是现代化战斗力的关键组成,合成旅武器装备体系建设对陆军整体作战实力提升具有重大影响^[1]。随着新军事变革的加速推进,特别是信息技术的不断发展及在军事领域的广泛运用,战争形态显著变化,由传统个体之间的较量演化为体系之间的对抗。体系对抗能力建设成为合成旅武器装备体系建设重点^[2]。如何从体系的角度全面客观衡量武器装备的体系贡献率成为合成旅武器装备建设发展亟需解决的问题,是当前研究的热点,事关合成旅战斗力生成,评估结果能够为陆军装备发展决策部门制定合成旅武器装备发展规划提供科学指导。复杂网络理论被广泛运用于武器装备体系贡献率评估^[3]。谭跃进等^[4]提出基于作战环的装备体系建模方法,通过分析网络拓扑结构来评估装备体系的贡献率。文献^[5]研究了“功能+过程”的作战网络模型构建方法,分别对元功能节点和功能边进行详细描述,并从作战能力、结构抗毁、任务支撑等多个维度分析装备体系贡献率。李际超等^[6]构建了基于复杂网络的武器装备体系网络模型,借助网络的有向自然联通度来评估装备体系的贡献率。何舒等^[7]构建了美国国家导弹防御系统作战网络模型,以网络抗毁性为指标来评估装备体系的贡献率。周琛等^[8]结合武器装备体系特点,构建了装备体系复杂网络模型,运用网络可靠度对武器装备体系贡献率进行评估。

合成旅武器装备体系包含侦察、指控和打击等多种类型装备实体,其作战网络复杂多维,具有明显的多层性和异质性特征。基于复杂网络的建模方法认为体系中的装备以及装备之间的关联关系都是相同的,不足以描述合成旅武器装备体系的复杂性和异质性^[9-10]。此外,技术的发展促使装备向功能综合型发展,同一装备往往兼具侦察、指控、打击等多种功能,这也对装备体系的网络建模和贡献率评估提出新要求。超网络被称为“网络的网络”,能够更好描述体系中的异质性问题^[11-12]。合成旅武器装备体系特征与超网络的特征具有天然的相似性。为此,本文提出基于超网络的合成旅武器装备体系贡献率评估方法,引入超网络来解决异质性问题,将综合型装备根据其功能映射为多个装备节点,综合体系作战能力和作战环数来衡量装备的贡献率。

1 合成旅武器装备体系超网络模型

根据 OODA 理论,整个作战过程是一个“观察—判断—决策—行动”的反复循环过程^[13]。据此,美国学者 Jeffery R Cares 提出信息交战模型,根据作战力量在战场上扮演的不同角色分为侦察实体、决策实体、影响实体和敌方目标。谭跃进等学者沿用了这一思想,在对武器装备体系网络建模时,将武器装备按角色不同区分为侦察类、决策类、影响类和目标类 4 类^[14-17]。合成旅武器装备体系是一个包含大量装备节点,装备之间关联关系复杂的巨系统,且不同武器装备在作战过程中扮演的角色也不同。为此,我们借鉴学者们的思想,将合成旅武器装备实体根据其在战场上角色的不同,区分为侦察类节点(S)、决策类节点(D)和打击类节点(A)。其中,侦察类节点代表具有探测、搜索等功能的装备实体,用于收集和获取战场信息,主要包括各类情报侦察装备,如各类侦察车、无人侦察机等。决策类节点代表具有处理战场态势信息和发布指控命令功能的装备实体,负责战场上的指挥控制,主要包括各类指挥控制装备,如地面指控中心、空中指控中心等。打击类节点代表具有根据作战指令做出行动响应的装备节点,用于遂行火力打击任务,如各类火炮、攻击无人机等。以敌目标为目标节点(T),侦察节点、决策节点、打击节点和目标节点便形成一个闭合的作战环。武器装备体系作战环网络如图 1 所示。

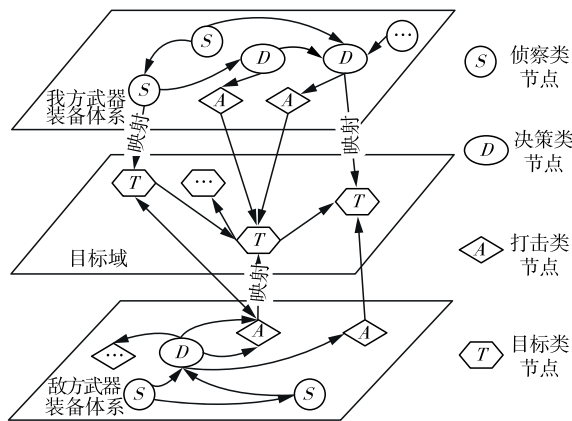


图 1 武器装备体系作战环网络

Fig. 1 Combat ring of the weapon SoS

武器装备体系形成一个超网络。

作战环包含从侦察、决策到打击的整个作战链路^[18],能够很好体现装备关联关系对体系能力的影响,有效反应整个装备体系的涌现性。一般来说,网络中作战环的数量越多,说明对应武器装备体系对敌打击的方式越多,即完成相应作战任务的方式越多,抗毁性越强^[19]。同时,武器装备体系自身的作战能力直接关系作战任务完成情况,能力越强,完成任务情况越好。合成旅武器装备贡献率评估是指从体系视角出发,分析在作战对抗中,武器装备对整个体系作战效能的贡献程度。因此,可用移除某个武器装备前后,合成旅武器装备体系作战效果之差和移除该武器装备之前的作战效果来表示:

$$\text{con}_{c|\delta} = \frac{X_c - X_{c|\delta}}{X_c} \times 100\% \quad (1)$$

式中: X_c 为原武器装备体系的作战效能; $X_c - X_{c|\delta}$ 为移除装备 δ 后,武器装备体系的作战效能。综合利用武器装备体系的作战能力和体系中作战环数 2 个指标,得到装备 δ 对合成旅武器装备体系的贡献率计算式:

$$\text{con}_{c|\delta} = \left(\alpha \cdot \frac{E_c - E_{c|\delta}}{E_c} + \beta \cdot \frac{N_c - N_{c|\delta}}{N_c} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中: E_c 为原武器装备体系的能力; N_c 为原武器装备体系中的作战环数; $E_{c|\delta}$ 为移除装备 δ 后体系的能力; $N_{c|\delta}$ 为移除装备 δ 后体系中的作战环数; α 、 β 为体系能力和作战环数二者权重。

2.2 武器装备体系作战能力的计算

合成旅武器装备体系作战能力,可用体系中作战环的作战效果来衡量^[20]。由于每个作战环包含由目标节点到侦察节点 P_{T-S} 、侦察节点到决策节点 P_{S-D} 、决策节点到打击节点 P_{D-A} 以及打击节点到目标节点 P_{A-T} 等多个环节,每个环节又需要多种能力支撑完成,且各支撑能力的作用程度不同。因此,通

过加权法计算作战环节 r 的作战能力 P_r :

$$P_r = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot S_i \quad (3)$$

式中: S_i 为作战环节 r 的第 i 个支撑能力; ω_i 为权重, $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ 。一个包含侦察—判断—决策—打击 4 个环节的标准作战环的作战能力定义为:

$$E = \sum P_r = P_{T-S} + P_{S-D} + P_{D-A} + P_{A-T} \quad (4)$$

作战过程中,围绕同一个敌目标实施火力打击时,侦察方法和打击手段并不单一,往往是多种方式方法并存。因此,整个合成旅武器装备体系作战环超网络必然存在多个作战环。假设同一时刻,各装备只能对单一作战环的信息进行响应,于是,可用所有作战环中作战能力最大的环来表示武器装备体系的作战能力 E_c , E_c 越大,表明越容易将敌目标进行摧毁,武器装备体系完成作战任务的概率也就越大:

$$E_c = \max \{E_1, E_2, \dots, E_{N_c}\} \quad (5)$$

由于作战环的作战能力与构成作战环的各作战环节相关,而各作战环节又需要相应的作战能力给予支撑。因此,需要构建武器装备体系能力指标体系。合成旅武器装备体系作战能力主要有信息支撑能力、指挥决策能力、火力打击能力、防护能力以及保障能力。由于在研究作战环时,重点分析对敌目标的打击效果,涉及防护能力和保障能力较少。因此,本文只考虑信息支撑能力、指挥决策能力和火力打击能力。信息支撑能力是指体系获取信息、传输信息、处理信息以及协同共享信息的能力,具体分为信息侦察能力、信息处理能力、信息传输能力和协同共享能力;指挥决策能力是指开展态势感知、进行指挥筹划和效果评估的能力,具体分为辅助决策能力、火力协调能力、指挥控制能力;火力打击能力是指对敌目标进行有效打击的能力,具体分为火力突防能力、精确命中能力、打击摧毁能力。

合成旅武器装备体系作战能力指标体系如图 4 所示。作战中,各作战环节所需支撑能力见表 2。

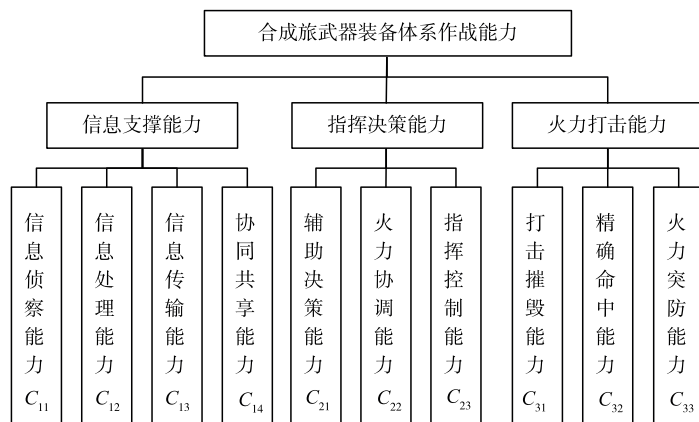


图 4 合成旅武器装备体系作战能力指标体系

Fig. 4 Capability indicator system of the syntheticbrigade's weapon SoS

表 2 各作战环节所需支撑能力

Tab. 2 Capabilities required for each combat stage			
作战环节	支撑能力	作战环节	支撑能力
P_{T-S}	C_{11}, C_{12}	P_{S-D}	C_{12}, C_{13}
P_{S-S}	C_{13}, C_{14}	P_{D-D}	C_{21}, C_{23}
P_{D-A}	C_{21}, C_{22}, C_{23}	P_{A-T}	C_{31}, C_{32}, C_{33}

2.3 武器装备体系作战环数的计算

在合成旅武器装备体系超网络中,体系的作战环数可以通过计算表示网络节点连接关系的邻接矩阵 $\mathbf{A}$ 的幂来求取^[21]。假设武器装备体系超网络中有 K 个装备节点,则可构建合成旅武器装备体系超网络的邻接矩阵 $\mathbf{A}$,矩阵各元素定义为:

$$\mathbf{A}[i,j]=\begin{cases} 1, \text{节点 } i \text{ 和节点 } j \text{ 存在相互关系} \\ 0, \text{节点 } i \text{ 和节点 } j \text{ 没有相互关系} \end{cases}$$

根据邻接矩阵的幂运算可知,邻接矩阵 $\mathbf{A}^\gamma$ 中每个元素 a_{ij}^γ 表示在网络中节点 i 和节点 j 之间联系情况,不为 0 则表示两节点之间存在长度为 γ 的有向通路,而对角线元素 a_{ii}^γ 表示经过节点 i 的长度为 γ 的闭环数量。因此,作战网络中的作战环数为:

$$N_c = \sum_{i=1}^K \sum_{\gamma=0}^{\infty} a_{ii}^\gamma \quad (6)$$

表 3 各类武器装备名称及能力值

装备名称	信息侦察	信息处理	信息传输	协同共享	辅助决策	火力协调	指挥控制	打击摧毁	精确命中	火力突防
	能力	能力	能力	能力	能力	能力	能力	能力	能力	能力
无人侦察机	9	7	7	6						
FPV 无人机	8	8	7	6				8	9	7
火炮								7	6	9
无人攻击机								7	7	6
旅指控中心					9	7	8			
炮兵指控中心					7	6	6			
无人机指控中心					8	7	7			

FPV 无人机属于综合型装备,兼具情报侦察和火力打击双重功能。依据功能对各装备进行映射,具体情况如表 4 所示。

表 4 装备及装备节点映射情况

Tab. 4 Mapping situation between weapon and weapon's node			
装备名称	装备节点	装备名称	装备节点
无人侦察机 1	S_{11}	火炮 2	A_{12}
无人侦察机 2	S_{12}	无人攻击机	A_{31}
FPV	S_{21}	旅指控中心	D_1
无人机	A_{21}	炮兵指控中心	D_2
火炮 1	A_{11}	无人机指控中心	D_3

结合场景 2,根据作战任务以及映射后的装备

3 示例分析

为验证方法的可行性,以合成旅遂行对敌指控中心火力打击任务为例,分析 FPV 无人机对合成旅装备体系的贡献率情况,进而论证合成旅编配察打一体无人机的必要性。

3.1 任务场景分析

场景 1:合成旅未配备 FPV 无人机。任务执行过程中,无人机排出动无人侦察机 2 架和无人攻击机 1 架,炮兵营动用火炮 2 门。无人机排设立无人指控中心,负责无人机的指挥控制。炮兵营设立炮兵指控中心,负责火炮的指挥控制。由无人侦察机对敌指控中心实施侦察并回传获取的信息至旅指控中心,旅指控中心对信息进行分析处理,拟制火力打击方案计划,尔后向炮兵指控中心和无人机指控中心下达火力打击命令,二者分别指挥控制所属火炮、无人攻击机对敌指控中心实施精确打击。

场景 2:合成旅编配了 FPV 无人机。任务过程中,假设无人机排出动 FPV 无人机 1 架,其他装备动用情况同场景 1。任务执行过程中,FPV 无人机受无人指控中心指挥控制,由无人侦察机和 FPV 无人机负责侦察,火炮、无人攻击机和 FPV 无人机负责火力打击。

经有人/无人作战领域专家综合评价,得到场景中各武器装备的作战能力见表 3。

节点情况,构建编配 FPV 无人机时的作战超网络图如图 5 所示。

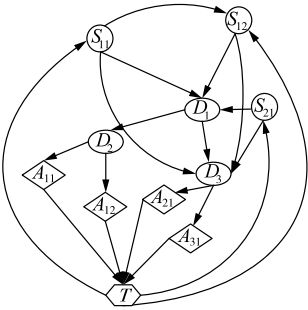


图 5 编配 FPV 无人机时的作战超网络图

Fig. 5 Combat super network with FPV

3.2 计算装备体系各作战环的作战能力

对照作战超网络图,假设作战环各环节的支撑能力权重相等,根据式(3)和式(4),得到网络中各作战环的作战能力,见表 5。

表 5 各作战环的体系作战能力
Tab. 5 Capability of the combat ring

环编号	装备节点	作战能力
1	$T-S_{11}-D_1-D_2-A_{11}-T$	36.82
2	$T-S_{11}-D_1-D_2-A_{12}-T$	36.82
3	$T-S_{11}-D_1-D_3-A_{31}-T$	37.67
4	$T-S_{11}-D_1-D_3-A_{21}-T$	39.00
5	$T-S_{12}-D_1-D_2-A_{11}-T$	36.82
6	$T-S_{12}-D_1-D_2-A_{12}-T$	36.82
7	$T-S_{12}-D_1-D_3-A_{21}-T$	38.50
8	$T-S_{12}-D_1-D_3-A_{31}-T$	37.67
9	$T-S_{21}-D_1-D_2-A_{11}-T$	36.32
10	$T-S_{21}-D_1-D_2-A_{12}-T$	36.32
11	$T-S_{21}-D_1-D_3-A_{21}-T$	38.50
12	$T-S_{21}-D_1-D_3-A_{31}-T$	37.17
13	$T-S_{11}-D_3-A_{21}-T$	31.33
14	$T-S_{11}-D_3-A_{31}-T$	30.00
15	$T-S_{12}-D_3-A_{21}-T$	31.33
16	$T-S_{12}-D_3-A_{31}-T$	30.00
17	$T-S_{21}-D_3-A_{21}-T$	30.83
18	$T-S_{21}-D_3-A_{31}-T$	29.50
19	$T-S_{11}-S_{12}-D_1-D_2-A_{11}-T$	44.07
20	$T-S_{11}-S_{12}-D_1-D_2-A_{12}-T$	44.07
21	$T-S_{11}-S_{12}-D_1-D_3-A_{31}-T$	44.92
22	$T-S_{11}-S_{12}-D_1-D_3-A_{21}-T$	46.25
23	$T-S_{11}-S_{12}-D_3-A_{21}-T$	38.58
24	$T-S_{11}-S_{12}-D_3-A_{31}-T$	37.25

由此可知,武器装备体系的作战能力:
 $E_c = \max\{E_1, E_2, \cdots, E_{N_c}\} = 46.25$

3.3 计算装备体系中作战环数

根据武器装备体系作战超网络中各装备节点的关系,构建邻接矩阵 A ,进一步根据式(5),计算可得作战环数 $N_c=24$ 。

3.4 合成旅武器装备体系贡献率评估

将 FPV 无人机从体系中移除,即得到场景 1,

构建新的作战超网络图,如图 6 所示。

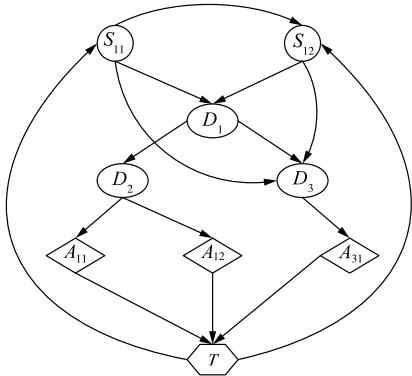


图 6 移除 FPV 无人机后的作战超网络图
Fig. 6 Combat super network without FPV

同理,计算可得:
 $E_{c|\delta} = 45.67, N_{c|\delta} = 10$

根据式(2)计算可得,FPV 无人机在武器装备体系中的贡献率为 23.95% ($\alpha=0.4, \beta=0.6$)。

可以看出,FPV 无人机作为一种集情报侦察和火力打击于一体的新型无人作战力量,在火力打击任务中发挥着重要作用,对整个装备体系作战效能发挥具有极高的贡献率。由此,为合成旅装备具备察打一体功能的无人机十分必要,应作为合成旅武器装备体系发展的重点。

4 结语

本文从体系的角度分析合成旅武器装备体系作战效能情况,借鉴超网络理论和作战环理论,构建了合成旅武器装备体系超网络模型,建立了合成旅武器装备体系能力指标体系,结合武器装备体系作战能力和作战环数提出了合成旅武器装备体系贡献率评估指标,并设计了评估方法,最后通过示例验证了方法的有效性。研究成果能够为确定合成旅武器装备体系优先发展计划以及优化合成旅武器装备体系结构提供理论方法。武器装备体系贡献率评估的方面有很多,本文综合装备体系作战能力和作战环数 2 个维度展开,虽然这 2 个维度能够较好解决装备论证人员关心的问题,但还可以从装备技术水平、装备谱系建设、装备体系演化等维度进行分析。不同的维度能够揭示装备体系的不同方面,所需的方法也不同。下一步,需继续尝试从多个角度、设计多种方法分析合成旅武器装备体系贡献率,以期得到更加全面的评价结果,为装备发展决策部门提供更加灵活有效的技术支撑。

参考文献

[1] 王乾,李兵,唐昊,等.合成旅后装保障能力建设问题

- 探析[J]. 军事交通学报, 2022, 1(4): 19-22.
- WANG Q, LI B, TANG H, et al. Study on Construction of Logistics Support Capacity of Synthetic Brigade[J]. Journal of Military Transportation, 2022, 1(4): 19-22. (in Chinese)
- [2] 孔放, 朱连军, 胡锦涛. 基于 OODA 环的合成旅装备保障效能评估[J]. 舰船电子工程, 2024, 44(3): 124-129.
- KONG F, ZHU L J, HU J J. Effectiveness Evaluation of Synthetic Brigade Equipment Support Based on OODA Loop[J]. Ship Electronic Engineering, 2024, 44(3): 124-129. (in Chinese)
- [3] 孙金, 高化猛, 马骋乾, 等. 基于复杂网络的装备体系结构稳定贡献度评估[J]. 指挥控制与仿真, 2022, 44(5): 50-56.
- SUN J, GAO H M, MA C Q, et al. Evaluation of Structural Stability Contribution of Equipment System Based on Complex Network[J]. Command Control & Simulation, 2022, 44(5): 50-56. (in Chinese)
- [4] 谭跃进, 张小可, 杨克巍. 武器装备体系网络化描述与建模方法[J]. 系统管理学报, 2012, 21(6): 781-786.
- TAN Y J, ZHANG X K, YANG K W. Research on Networked Description and Modeling Methods of Armament System-of-Systems[J]. Journal of Systems & Management, 2012, 21(6): 781-786. (in Chinese)
- [5] LI J C, FU C X, CHEN Y W, et al. An Operational Efficiency Evaluation Method for Weapon System-of-Systems Combat Networks Based on Operation Loop [C]//2014 9th International Conference on System of Systems Engineering (SOSE). Glenelg, SA: IEEE, 2014: 219-223.
- [6] 李际超, 杨克巍, 张小可, 等. 基于武器装备体系作战网络模型的装备贡献度评估[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2016, 13(3): 1-7.
- LI J C, YANG K W, ZHANG X K, et al. Equipment Contribution Degree Evaluation Method Based on Combat Network of Weapon System-of-Systems[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2016, 13(3): 1-7. (in Chinese)
- [7] 何舒, 杨克巍, 梁杰. 基于网络抗毁性的装备贡献度评价[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(8): 87-91, 96.
- HE S, YANG K W, LIANG J. Research on Contribution of Single Equipment to Weapon System-of-Systems Based on Network Invulnerability[J]. Fire Control & Command Control, 2017, 42(8): 87-91, 96. (in Chinese)
- [8] 周琛, 宋笔锋, 尚柏林, 等. 基于作战网络可靠度的体系贡献率评估[J]. 系统工程与电子技术, 2021, 43(7): 1875-1883.
- ZHOU C, SONG B F, SHANG B L, et al. System of Systems Contribution Rate Evaluation Based on Operational Network Reliability[J]. Systems Engineering and Electronics, 2021, 43(7): 1875-1883. (in Chinese)
- [9] 许怡岚, 郭唐仪, 唐坤, 等. 基于超网络的军事交通运输网络节点价值评估方法[J]. 兵工学报, 2024, 45(2): 552-563.
- XU Y L, GUO T Y, TANG K, et al. Evaluation of Node Value of Military Transportation Network Based on Hyper-Networks[J]. Acta Armamentarii, 2024, 45(2): 552-563. (in Chinese)
- [10] 赵丹玲, 谭跃进, 李际超, 等. 基于异质网络的武器装备体系结构抗毁性研究[J]. 系统工程理论与实践, 2019, 39(12): 3197-3207.
- ZHAO D L, TAN Y J, LI J C, et al. Research on Structural Robustness of Weapon System-of-Systems Based on Heterogeneous Network[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2019, 39(12): 3197-3207. (in Chinese)
- [11] 王远, 贡岩, 刘立业. 基于两层三模超网络的区域防空作战体系分析[J]. 系统工程与电子技术, 2025, 47(1): 182-190.
- WANG Y, GONG Y, LIU L Y. Analysis of Regional Air Defense Operation System Based on Two-Layer Three-Mode Supernetwork[J]. Systems Engineering and Electronics, 2025, 47(1): 182-190. (in Chinese)
- [12] 黄树江, 王超, 郭基联, 等. 基于超网络的作战体系演化模型构建方法[J]. 火力与指挥控制, 2021, 46(6): 64-70.
- HUANG S J, WANG C, GUO J L, et al. Construction Method of Combat System Evolution Model Based on Hypertnetwork[J]. Fire Control & Command Control, 2021, 46(6): 64-70. (in Chinese)
- [13] 白成超, 张琦, 谢旭东, 等. 面向复杂决策的 OODA 环: 智能赋能与认知增强[J]. 指挥与控制学报, 2024, 10(3): 284-297.
- BAI C C, ZHANG Q, XIE X D, et al. OODA Ring Theory for Complex Decision-Making: Intelligent Empowerment and Cognitive Enhancement[J]. Journal of Command and Control, 2024, 10(3): 284-297. (in Chinese)
- [14] 胡勇, 朱江, 姜晓辉, 等. 武器系统体系贡献率评估方法研究[J]. 军事运筹与评估, 2022, 36(4): 17-23.
- HU Y, ZHU J, JIANG X H, et al. A Study on the System Contribution Rate Assessment Method for Weapon System[J]. Military Operations Research and Assessment, 2022, 36(4): 17-23. (in Chinese)
- [15] 卜广志, 毛昭军. 装备体系贡献率的度量与评估方法[J]. 军事运筹与评估, 2023, 37(3): 29-33.
- BU G Z, MAO Z J. A Study on the Measurement and Assessment Method of SoS Contribution Rate[J]. Military Operations Research and Assessment, 2023, 37(3): 29-33. (in Chinese)

- Network Based Tactical Intent Recognition for Sea Targets[J]. Systems Engineering and Electronics, 2016,38(8): 1847-1853. (in Chinese)
- [23] 陆光宇,丁迎迎. 水下平台对敌意图识别技术研究[J]. 指挥控制与仿真,2012,34(6): 100-102.
LU G Y, DING Y Y. Study on Intention Recognition to Foe of Underwater Platform[J]. Command Control & Simulation, 2012,34(6): 100-102. (in Chinese)
- [24] SONG Z Y, LIU J W, YANG J, et al. Linear Normalization Attention Neural Hawkes Process[J]. Neural Computing and Applications, 2023,35(1): 1025-1039.
- [25] ZHOU Y P, LI Z, GUO C L, et al. SRFormer: Permuted Self-Attention for Single Image Super Resolution[C]//2023 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). Paris: IEEE, 2023: 12734-12745.
- [26] WANG Y H, WANG J, FAN S P, et al. QuickInten-
tion Identification of an Enemy Aerial Target through
Information Classification Processing[J]. Aerospace
Science and Technology, 2023,132: 108005.
- [27] VASWANI A, SHAZEER N M, PARMAR N, et al. Expanding the Prediction Capacity in Long Sequence Time-Series Forecasting[J]. Advances in Neural Information Processing Systems, 2017,30: 5598-6008.
- [28] ZHOU H Y, ZHANG S H, PENG J Q, et al. Informer: Beyond Efficient Transformer for Long Sequence Time-Series Forecasting[C]//Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2021:11106-11115.
- [29] ZHANG Y H, YAN J C. Crossformer: Transformer Utilizing Cross-Dimension Dependency for Multivariate Time Series Forecasting[C]//International Conference on Learning Representations, 2023.
- (编辑:杜娟)

(编辑:杜娟)

(上接第 68 页)

- [16] 陈志伟,张罗庚,方晓彤,等.装备体系可靠性概念、建模与预计方法研究[J].系统工程与电子技术,2024,46(6):1975-1985.
CHEN Z W,ZHANG L G,FANG X T,et al. Reliability Concepts, Modeling, and Prediction Methods for Weapon System of Systems[J]. Systems Engineering and Electronics,2024,46(6):1975-1985. (in Chinese)
 - [17] 孟乐,张琳,赵强,等.基于超网络的无人作战装备体系建模研究[J].火力与指挥控制,2023,48(7):85-92.
MENG L,ZHANG L,ZHAO Q,et al. Research on Modeling of Unmanned Combat Equipment System Based on Super Network[J]. Fire Control & Command Control,2023,48(7):85-92. (in Chinese)
 - [18] 徐任杰,宫琳,谢剑,等.基于装备体系韧性的作战网络链路重要度评估及恢复策略[J].系统工程与电子技术,2023,45(1):139-147.
XU R J,GONG L,XIE J,et al. Operation Network Link Importance Evaluation and Recovery Strategy Based on Equipment System-of-Systems Resilience [J]. Systems Engineering and Electronics,2023,45(1):139-147. (in Chinese)
 - [19] 林晋福,朱玉,张佳强,等.基于并行作战环的无人机集群协同作战能力评估方法[J].空军工程大学学报,2023,24(5):33-40.
LIN J F,ZHU Y,ZHANG J Q,et al. Evaluation Method of UAV Swarm Cooperative Operational Capability Based on Parallel Operation Ring[J]. Journal of Air Force Engineering University,2023,24(5):33-40. (in Chinese)
 - [20] 梁家林,熊伟.基于作战环的武器装备体系能力评估方法[J].系统工程与电子技术,2019,41(8):1810-1819.
LIANG J L,XIONG W. Capabilities Assessment of the Weaponry System Based on Combat Ring[J]. Systems Engineering and Electronics,2019,41(8):1810-1819. (in Chinese)
 - [21] 张春华,张小可,邓宏钟.一种基于作战环的作战体系效能评估方法[J].电子设计工程,2012,20(21):62-64,68.
ZHANG C H,ZHANG X K,DENG H Z. Operation System of Systems Effectiveness Assessment Method Based on Operation Loop[J]. Electronic Design Engineering,2012,20(21):62-64,68. (in Chinese)

(编辑:刘勇)