

基于 DoDAF 与 RIMER 的导弹预警反击作战体系效能评估

郭小川, 陈桂明, 常雷雷, 刘鑫昌, 熊奇
(火箭军工程大学, 西安 710025)

摘要: 导弹预警反击作战(ECCoM)是防御战略的重要支撑,存在作战体系建立难、效能评估不易等问题。针对导弹预警反击作战体系(ECCSoMS)建立及其效能评估问题,采用美国国防部体系结构框架建立 ECCSoMS,以视图为基础进行从军事需求到作战使命、作战任务、作战能力的系统分析;利用基于证据推理算法的信度规则库推理(RIMER)方法,根据历史经验、实验数据和专家知识构造信度规则库,将多种类型的不确定性能力数据转换成统一的信度结构,实现 ECCSoMS 效能评估。通过示例说明方法的具体应用和优点。

关键词: 导弹预警反击作战; RIMER; 国防部体系结构框架; 效能评估

中图分类号: TJ76 文献标志码: A 文章编号: 1671-637X(2017)06-0028-06

DoDAF and RIMER Based Effectiveness Evaluation of Early-Warning and Counter-Attack Combat System of Missile Systems

GUO Xiao-chuan, CHEN Gui-ming, CHANG Lei-lei, LIU Xin-chang, XIONG Qi
(Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China)

Abstract: Early-warning and Counter-attack Combat of Missile (ECCoM) is an important support of the active defense strategy. However, it is difficult to establish the operational system and to make effectiveness evaluation. Aiming at the establishment of Early-warning and Counter-attack Combat System of Missile Systems (ECCSoMS) and its effectiveness evaluation, Department of Defense Architecture Framework (DoDAF) is used to establish the ECCSoMS, and analysis is made to the military requirements, combat missions, operational activities, operational capabilities and weapons system by the technical means of views. Effectiveness evaluation of ECCSoMS is realized by use of the belief Rule base Inference Methodology using the Evidential Reasoning (RIMER). And the belief rule base is constructed according to historical experience, experimental data and expert knowledge, which can convert various types of uncertainty data into a unified structure reliability. With an example, the specific application and advantages of the method are illustrated.

Key words: early-warning and counter-attack combat of missile; RIMER; DoDAF; effectiveness evaluation

0 引言

导弹预警反击作战(ECCoM)是指当敌方实施先发制人导弹打击时,我方根据预警信息和反击作战命令,在敌方来袭导弹引爆前,完成导弹发射任务,达到打击敌方战略目标的目的^[1]。ECCoM能够改变遭受袭击后被动反击的战争局面,在军事上争取主动,震慑敌方,提高我军战略力量的快速反应能力和战略威慑

能力。我国历来奉行积极防御的军事策略,因此开展导弹预警反击作战体系(ECCSoMS)重点问题研究十分必要。

ECCSoMS效能研究需要解决两个关键问题:一是如何构建 ECCSoMS;二是如何评估 ECCSoMS 的效能。在评估 ECCSoMS 效能时,其底层能力指标输入既有定性指标也有定量值,而要求输出则是量化结果,如何建立统一的规则结构并计算出最终输出数值是研究的难点。

美国国防部体系结构框架^[2](DoDAF)采用多视图方法对武器装备体系进行建模,为不同利益相关者提供规范化、统一化的交流平台,其“使命—任务—能力”的体系结构建模过程符合 ECCoM 军事需求分析的逻辑。

收稿日期:2016-05-19

修回日期:2016-06-27

基金项目:国家自然科学基金(71201168)

作者简介:郭小川(1991—),男,陕西富平人,硕士,研究方向为国防项目管理。

基于此,本文采用 DoDAF 方法分析并构建 ECCSoMS。

效能评估是武器装备体系研究的重要内容之一。美国开发并应用了计算探索模型等决策支持模型以及高层体系结构,英国、法国也相应开发作战建议系统和海上作战指挥决策系统对作战体系效能进行评估^[3]。国内学者大多是提出体系生成原则后,直接给出被评估体系,缺少科学性系统性的生成方法;针对效能评估问题,则多侧重基于作战对抗仿真的作战体系效能评估方法研究,对实验数据依赖性强。

本文针对作战体系效能评估中存在底层能力指标类型多样、评估信息不完全等问题,提出一种基于证据推理算法的信度规则库推理(RIMER)^[4-5]评估方法。RIMER 方法不需要先验概率,通过推理得出评估结果,可广泛应用于信息融合以及不确定推理等领域^[6]。RIMER 方法利用信度结构来表示输入数据的不确定性,用合成规则实现评估。在建立 ECCSoMS 的基础上,首先依据历史经验、实验数据和专家知识构建信度规则库,然后将多种类型的不确定性数据转换成统一的信度结构,计算输入数据对规则的匹配程度,最后对证据组合,评估体系效能。

1 ECCSoMS 构建方法

在当今复杂的国际局势下,提高 ECCoM 能力有利于我国实施积极防御的军事战略。本文基于 DoDAF 分析 ECCoM 军事需求并构建 ECCSoMS。

1.1 DoDAF 方法

DoDAF 以美军于 1996 年和 1997 年提出的 C⁴ISR 框架报告为基础,以“视图(View)”的形式融合图、表、文字等模型为不同利益相关者搭建统一化、规范化的交流平台。视图类型包括全视图(AV)、作战视图(OV)、能力视图(CV)、系统视图(SV)以及标准视图(StdV)等。DoDAF 对美军构建装备体系具有很强的指导意义和实用价值,提高了其装备间互联、互通、互操作的能力,被广泛应用于美军装备体系论证与装备研制和改进过程^[7]。

其他国家借鉴 DoDAF 也开发出适合各自实际的体系结构框架。如英国的 MoDAF、澳大利亚的 ADoAF、挪威的 MACCIS、加拿大的 DNDAF 以及我国的 C⁴ISR 框架等。各国开发的体系结构框架都已实际应用,并在指导部队装备建设方面发挥了重大作用^[8]。

1.2 基于 DoDAF 的建模过程

1) 分析需求,得到作战使命。作战使命以文字描述为主,DoDAF 将作战使命进一步细化为高级作战概念图(OV-1),将文字形式的作战使命形象化和具体化。

2) 明确作战任务,细化作战活动。将作战使命细

分为若干个具有时序关系的作战任务,并将每个作战任务进一步分解,得到更为具体的作战活动。这其中涉及到的视图模型包括 OV-5a(作战活动分解视图)和 OV-2(作战节点连接图)。

3) 分析能力与子能力要求。建立作战任务(活动)与能力之间的映射关系(CV-6,任务到能力映射矩阵),然后进一步将能力分解为子能力和相关性指标(CV-2,能力列表)。

通过建立自上而下的逻辑关系和体系层次结构关系,可以辅助从抽象的军事需求逐步分析得到作战所需要的装备体系。相关领域专家全程参与,其结果具有可解释性和可追溯性。

2 基于 RIMER 的作战效能评估方法

2.1 RIMER 方法

RIMER 方法是由英国曼彻斯特大学 YANG 教授提出的一种在统一的框架下处理各种不确定信息评估和优化复杂系统的方法。RIMER 方法集成了 D-S 证据理论、多属性决策理论、模糊理论和 If-then 专家系统等理论,具有对模糊数据、主观数据、概率型数据及无知信息等进行建模和分析的能力^[9]。RIMER 方法以信度刻画不确定性,较好地处理了信息不完全或未知时的表示问题。信度这个概念可以模拟只掌握了被研究对象部分事实时的主观判断,因而用信度来描述 ECCSoMS 效能评估中的规则是合理的。

2.2 基于 RIMER 的体系效能评估

体系效能评估要求所构建体系的底层能力是可测的,或者依据专家经验可评价。RIMER 评估方法具体包括 5 个步骤。

1) 构造信度规则库。

按照统一的框架表达评价准则、专家经验和能力需求。能力评估规则库可以表示为

$$RB = \langle C, A, R, F \rangle \quad (1)$$

式中: $C = \{C_1, C_2, \dots, C_l\}$ 表示各项能力的集合; $A = \{A_1, A_2, \dots, A_l\}$ 表示规则库与各项能力的对应取值集合,集合中 $A_i = \{A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{i|A_i|}\}$, $|A_i|$ 表示集合 A_i 中的元素个数; $R = \{R_1, R_2, \dots, R_L\}$ 是所有结论的集合, L 表示集合 R 中结论的个数; F 是规则中前提和结论的映射函数。

信度规则库由“If-then”规则表示,且每条规则的结论具有信度结构。信度规则库中的规则表示为

$$R_k: \text{If } A_1^k \wedge A_2^k \wedge \dots \wedge A_{r_k}^k, \\ \text{then } \{(r_1, \beta_{1k}), (r_2, \beta_{2k}), \dots, (r_L, \beta_{Lk})\} \quad (2)$$

式中, β_{ik} 表示第 k 条规则前提条件成立时结论为 r_i 的信度,且有 $\sum_{i=1}^L \beta_{ik} \leq 1$ 。该条规则的相对权重记为 θ_k ,其

前提条件间的相对权重记为 $\delta_{k1}, \delta_{k2}, \dots, \delta_{kT_k}, T_k$ 表示前提条件的个数。 $\sum_{i=1}^L \beta_{ik} = 1$, 表示该条规则的信息是完全的; $\sum_{i=1}^L \beta_{ik} = 0$ 表示不知道输出结果; $0 < \sum_{i=1}^L \beta_{ik} < 1$ 表示对输出结果部分可知。以毁伤能力为例, 其分解为目标识别概率、命中精度和打击程度 3 个性能指标, 当 (目标识别概率为 100%) \wedge (命中精度为 50 m) \wedge (打击程度为高) 时, 毁伤能力 = {(高, 1)(中, 0)(低, 0)}。基于此建立的信度规则如下所示。

If ((目标识别概率 = 100%) \wedge (命中精度 = 50 m) \wedge (打击程度 = 高))

then {毁伤能力 = (高, 1)(中, 0)(低, 0)}

在实际工作中, 可以根据历史数据、仿真模型推演结果和专家知识构建信度规则(库)。

2) 输入数据的转换。

将输入的数据转换为信度结构形式, 计算输入数据匹配规则的前提条件中属性的程度。输入为

$$(x_1, \varepsilon_1) \wedge (x_2, \varepsilon_2) \wedge \dots \wedge (x_l, \varepsilon_l) \quad (3)$$

式中, ε_i 是输入数据 x_i 的信度。带有信度的数据对能力的匹配程度计算方法为

$$T(x_i, \varepsilon_i) = \{(A_{ij}, \alpha_{ij}); i=1, 2, \dots, l, j=1, 2, \dots, |A_i|\} \quad (4)$$

式中, α_{ij} ($\alpha_{ij} \in [0, 1]$) 表示输入 x_i 匹配能力 c_i 的第 j 个取值 A_{ij} 的程度, $\alpha_{ij} = \frac{\varphi(x_i, A_{ij})\varepsilon_i}{\sum_{|A_i|} \varphi(x_i, A_{ij})}$, $\varphi(x_i, A_{ij})$ 是相似

函数, 刻画 x_i 与 A_{ij} 的相似程度。根据指标类型和特点的不同, φ 的选取有以下两种情形。

① 前提属性为离散数值。

规则库中能力 c_i 的取值 A_{ij} 为 $\{A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{i|A_i|}\}$ 。不失一般性, 数列单调递增, 有

$$\varphi(x_i, A_{ij}) = \begin{cases} \frac{A_{i(k+1)} - x_i}{A_{i(k+1)} - A_{ik}} & j = k (A_{ik} \leq x_i \leq A_{i(k+1)}) \\ \frac{x_i - A_{ik}}{A_{i(k+1)} - A_{ik}} & j = k + 1 \\ 0 & j = 1, 2, \dots, |A_i|, j \neq k, k + 1 \end{cases} \quad (5)$$

② 输入值为专家主观经验判断, 则 $\alpha_{ij} = \varepsilon_i$ 。

3) 输入数据的转换。

由式(4)可知, 设输入对应于第 k 条规则依次转换成 $(A_1^k, \alpha_1^k), (A_2^k, \alpha_2^k), \dots, (A_{T_k}^k, \alpha_{T_k}^k)$ 。当所有前提条件都用“ \wedge ”连接时,

$$\alpha_k = \prod_{i=1}^{T_k} (\alpha_i^k)^{\bar{\delta}_{ki}} \quad (6)$$

式中: α_k 为输入匹配第 k 条规则的程度; $\bar{\delta}_{ki} = \frac{\delta_{ki}}{\max\{\delta_{ki}\}}$ 。

由式(6)知, $\bar{\delta}_{ki} \in (0, 1], \alpha_i^k \in [0, 1], \alpha_k \leq \min_{i=1, 2, \dots, T_k} \{\alpha_i^k\}$ 。

当所有前提条件用“ \vee ”连接时,

$$\begin{cases} h_i^k = \bar{\delta}_{ki} \times \alpha_i^k \\ \alpha_{k(1)} = h_1^k \\ \alpha_{k(i+1)} = \alpha_{k(i)} + (1 - \alpha_{k(i)}) h_{i+1}^k \\ \alpha_k = \alpha_{k(T_k)} \end{cases} \quad (7)$$

转换后的数据对第 k 条规则归一化后的激活程度的算式为

$$\omega_k = \theta_k \alpha_k / \sum_{i=1}^L \theta_i \alpha_i \quad (8)$$

式中: θ_k 为第 k 条规则的相对权重; α_k 为输入匹配第 k 条规则的程度, 当 $\alpha_k = 0$ 时, $\omega_k = 0$, 第 k 条规则未被激活。

经上述计算, 转换了输入数据, 获得输入数据对相应规则的激活程度, 用证据推理方法进行指标的聚集。

4) 构造基本可信数。

基本可信数的构造算式为

$$\begin{cases} m_{l,k} = \omega_k \bar{\beta}_{lk} \\ m_{R,k} = 1 - \omega_k \sum_{l=1}^L \bar{\beta}_{lk} \\ \bar{m}_{R,k} = 1 - \omega_k \\ \tilde{m}_{R,k} = \omega_k (1 - \sum_{l=1}^L \bar{\beta}_{lk}) \end{cases} \quad l=1, 2, \dots, L, k=1, 2, \dots, K \quad (9)$$

式中: $m_{l,k}$ 是为第 k 条规则第 l 个结论分配的基本可信数; $m_{R,k} = \bar{m}_{R,k} + \tilde{m}_{R,k}$, 是对第 k 条规则的不确定程度。

5) 证据组合。

证据组合是融合输入激活的多条规则, 算式为

$$\begin{cases} m_i = k \left[\prod_{i=1}^s (m_{l,i} + \bar{m}_{R,i} + \tilde{m}_{R,i}) - \prod_{i=1}^s (\bar{m}_{R,i} + \tilde{m}_{R,i}) \right] \\ \tilde{m} = k \left[\prod_{i=1}^s (\bar{m}_{R,i} + \tilde{m}_{R,i}) - \prod_{i=1}^s \bar{m}_{R,i} \right] \\ \bar{m}_R = k \left[\prod_{i=1}^s \bar{m}_{R,i} \right] \\ K = \left[\sum_{n=1}^N \prod_{i=1}^s (m_{l,i} + \bar{m}_{R,i} + \tilde{m}_{R,i}) - (N-1) \prod_{i=1}^s (\bar{m}_{R,i} + \tilde{m}_{R,i}) \right]^{-1} \\ \beta_l = \frac{m_l}{1 - \bar{m}_R} \\ \beta_R = \frac{\tilde{m}_l}{1 - \bar{m}_R} \\ \beta_T = 1 - \beta_l - \beta_R \end{cases} \quad (10)$$

假设前 S 条规则被激活, 其中 β 为由输入值(装备体系的能力特征参数)得到结果值(预警反击作战体系效能)的信度。 $m_l, \bar{m}_R, \tilde{m}_R$ 为综合前 k 条规则的结果, 最终得到的 β_l, β_R 和 β_T 即是效能等级分别满足作战需求程度(高, 中, 低)的置信度值。

3 实例分析

3.1 ECCSoMS 建模

ECCoM 是预警侦察系统监测到敌方来袭导弹后,

向情报中心发送预警信息,情报中心向指挥机构汇报敌方导弹来袭情况,指挥机构根据预警信息向作战单元发送作战命令,作战单元对敌方目标进行打击的过程。根据 1.2 节建模过程,建立 ECCSoMS。

1) 分析军事需求,形成作战使命,构建高级作战概念图。ECCoM 要求分析国际局势,研判态势,在预警侦察系统预警来袭导弹信号后,即刻展开导弹拦截,并在来袭导弹引爆前,成功发射我方导弹,摧毁敌方目标。ECCSoMS 的高级作战概念图刻画出 ECCoM 的过程以及各作战节点的内部关系,如图 1 所示。

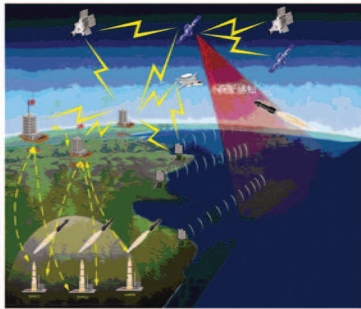


图 1 ECCSoMS 高级作战概念图

Fig. 1 High-level operational concept graphic of ECCSoMS

2) 对 ECCSoMS 高级作战概念图中各个活动进行分解,得到 ECCSoMS 活动分解视图。如图 2 所示,预警反击作战活动分解视图中,天基红外系统、地基 X 波段多功能雷达、超视距预警雷达、弹道导弹早期预警雷达以及预警机等侦察系统发现并实时向情报中心发送来袭导弹数据及其相关信息。情报中心将收到的来袭导弹相关信息处理后汇报至战区导弹作战指挥机构,再由战区导弹作战指挥机构汇报至全军作战指挥机构。作战指挥机构向导弹发射单元下达作战命令,导弹发射单元对敌方目标实施打击。

ECCSoMS 作战活动分解视图共 15 项作战活动,表 1 具体解释了 15 项作战活动的源作战活动和目的作战活动。

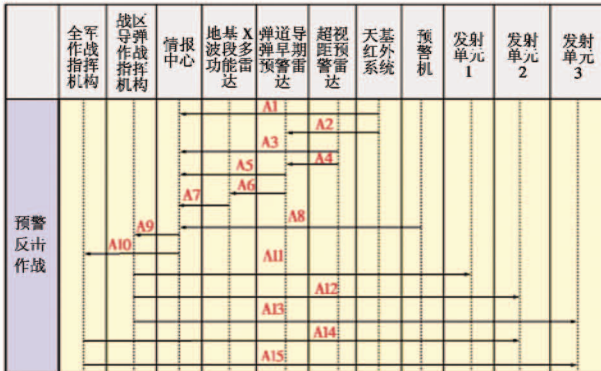


图 2 ECCSoMS 作战活动分解视图

Fig. 2 Operational activity decomposition tree of ECCSoMS

表 1 作战活动表

Table 1 Operational activities

作战活动	内容
A1	侦察到来袭导弹;向情报中心实时汇报来袭导弹飞行状态数据
A2	向弹道导弹早期预警雷达实时传递信息
A3	侦察到来袭导弹;向情报中心实时汇报来袭导弹飞行状态数据
A4	向弹道导弹早期预警雷达实时传递信息
A5	向情报中心实时汇报来袭导弹飞行状态数据
A6	向地基 X 波段多功能雷达传递来袭导弹飞行状态数据
A7	向情报中心实时汇报来袭导弹飞行状态数据
A8	向情报中心实时汇报来袭导弹飞行状态数据
A9	向战区导弹作战指挥机构汇报来袭导弹信息处理结果
A10	向全军作战指挥机构汇报来袭导弹信息处理结果
A11	向导弹发射单元 1 下达作战命令
A12	向导弹发射单元 2 下达作战命令
A13	向导弹发射单元 3 下达作战命令
A14	向导弹发射单元 2 下达作战命令
A15	向导弹发射单元 3 下达作战命令

3) 分析 15 项作战活动所需要的作战能力,将作战活动与对应的作战能力一一映射,即可得出 ECCSoMS 活动到能力映射关系表,如表 2 所示。任务到能力映射关系表清晰刻画出作战活动与所需能力的对应关系。

表 2 ECCSoMS 活动到能力映射关系表

Table 2 Mapping of capability to operational activity of ECCSoMS

作战活动	能力				
	毁伤能力	指挥控制能力	机动保障能力	信息交换能力	突防能力
A1		✓		✓	
A2				✓	
A3		✓		✓	
A4				✓	
A5		✓		✓	
A6			✓	✓	
A7		✓		✓	
A8		✓		✓	
A9		✓	✓	✓	
A10		✓	✓	✓	
A11	✓	✓	✓	✓	✓
A12	✓	✓	✓	✓	✓
A13	✓	✓	✓	✓	✓
A14	✓	✓	✓	✓	✓
A15	✓	✓	✓	✓	✓

活动到能力分解图中,毁伤能力和突防能力主要描述导弹武器自身应具备的能力,指挥控制能力、机动保障能力和信息交换能力是涉及作战全流程的必备能力。将能力层分解至性能层,得到 ECCSoMS 总效能图,如图 3 所示。

ECCSoMS 效能图中,能力层取值为定性值,性能层取值既包含定性指标,如“抗干扰类型”,也包含定量值,如“机动运输时间”,具体取值如表 3 所示。

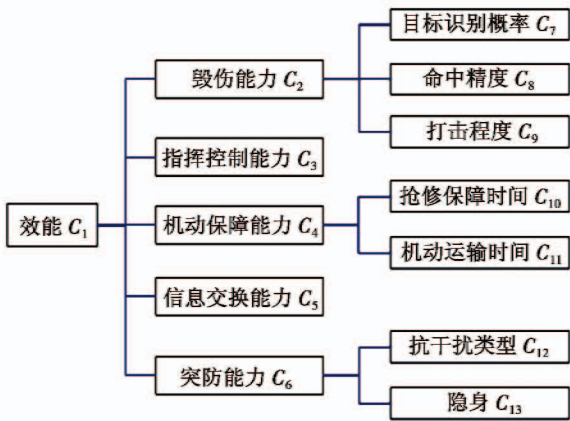


图3 ECCSoMS 效能图

Fig. 3 Effectiveness of ECCSoMS

表3 毁伤能力输入激活规则

Table 3 Activation rules by inputting destroy capability

编号	前提条件	结论
2	$(C_7 = 100\%) \wedge (C_8 = 100) \wedge (C_9 = \text{高})$	$C_4 = \{(A, 0.9)(B, 0.1)(C, 0)\}$
5	$(C_7 = 80\%) \wedge (C_8 = 100) \wedge (C_9 = \text{高})$	$C_4 = \{(A, 0.8)(B, 0.2)(C, 0)\}$
11	$(C_7 = 100\%) \wedge (C_8 = 100) \wedge (C_9 = \text{中})$	$C_4 = \{(A, 0.7)(B, 0.2)(C, 0.1)\}$
14	$(C_7 = 80\%) \wedge (C_8 = 100) \wedge (C_9 = \text{中})$	$C_4 = \{(A, 0.65)(B, 0.25)(C, 0.1)\}$

3.2 ECCSoMS 效能计算

下面以计算 ECCSoMS 效能示例说明该方法的應用。假设规则库中规则的权重相等,规则前提条件的相对权重也相等,即 $\theta_k = \theta_l (l \neq k, l, k = 1, 2, \dots, K)$, $\delta_{k1} = \delta_{k2} = \dots = \delta_{kT}$ 。规则库(部分)如表4所示(未列出权重),规则库中涉及的能力及取值如表5所示。设A型导弹的ECCSoMS能力参数为: $C_1 = \{(高, 0.9)(中, 0.1)\}$, $C_3 = \{(高, 0.7)(中, 0.2)(低, 0.1)\}$, $C_7 = (95, 1)$, $C_8 = (100, 1)$, $C_9 = \{(高, 80\%)(中, 20\%)(低, 0)\}$, $C_{10} = (6, 1)$, $C_{11} = (1.3, 1)$, $C_{12} = (3, 1)$, $C_{13} = \{(有, 1)\}$ 。

表4 带有信度结构的效能评估规则库(部分)

Table 4 Rule base for effectiveness evaluation(Partial)

编号	前提条件	结论
1	$(C_7 = 100\%) \wedge (C_8 = 50) \wedge (C_9 = \text{高})$	$C_2 = \{(A, 1)(B, 0)(C, 0)\}$
2	$(C_7 = 100\%) \wedge (C_8 = 100) \wedge (C_9 = \text{高})$	$C_2 = \{(A, 0.9)(B, 0.1)(C, 0)\}$
3	$(C_7 = 100\%) \wedge (C_8 = 150) \wedge (C_9 = \text{高})$	$C_2 = \{(A, 0.8)(B, 0.2)(C, 0)\}$
4	$(C_7 = 80\%) \wedge (C_8 = 50) \wedge (C_9 = \text{高})$	$C_2 = \{(A, 0.9)(B, 0.1)(C, 0)\}$
5	$(C_7 = 80\%) \wedge (C_8 = 100) \wedge (C_9 = \text{高})$	$C_2 = \{(A, 0.8)(B, 0.2)(C, 0)\}$
6	$(C_7 = 80\%) \wedge (C_8 = 150) \wedge (C_9 = \text{高})$	$C_2 = \{(A, 0.7)(B, 0.3)(C, 0)\}$
7	$(C_7 = 60\%) \wedge (C_8 = 50) \wedge (C_9 = \text{高})$	$C_2 = \{(A, 0.8)(B, 0.2)(C, 0)\}$
8	$(C_7 = 60\%) \wedge (C_8 = 100) \wedge (C_9 = \text{高})$	$C_2 = \{(A, 0.7)(B, 0.2)(C, 0.1)\}$
9	$(C_7 = 60\%) \wedge (C_8 = 150) \wedge (C_9 = \text{高})$	$C_2 = \{(A, 0.6)(B, 0.3)(C, 0.1)\}$
10	$(C_7 = 100\%) \wedge (C_8 = 50) \wedge (C_9 = \text{中})$	$C_2 = \{(A, 0.8)(B, 0.2)(C, 0)\}$

表5 ECCSoMS 各项能力取值表

Table 5 The capabilities value of ECCSoMS

标识	能力名称	能力取值
C_1	效能	(高,中,低)
C_2	毁伤能力	(高,中,低)
C_3	指挥控制能力	(高,中,低)
C_4	机动保障能力	(高,中,低)
C_5	信息交换能力	(高,中,低)
C_6	突防能力	(高,中,低)
C_7	目标识别概率/%	(100,80,60)
C_8	打击精度/m	(50,100,150)
C_9	打击程度	(高,中,低)
C_{10}	抢修保障时间/min	(5,10,15)
C_{11}	机动运输时间/h	(1,2,3)
C_{12}	抗干扰种类数	(4,3,2)
C_{13}	隐身	(有,无)

1) 计算毁伤能力 C_2 。

已知输入为 $C_7 = (95, 1)$, $C_8 = (100, 1)$, $C_9 = \{(高, 80\%)(中, 20\%)(低, 0)\}$ 。

① 构造信度规则库见表4,由输入 C_7, C_8 和 C_9 可知,激活了规则库中 R_2, R_5, R_{11}, R_{14} , 相应的规则如表2所示。

② 输入数据转换,将输入值 C_7, C_8 和 C_9 分别代入式(5)可得, $\varphi_1(95, 80) = 0.25, \varphi_1(95, 100) = 0.75, \varphi_1(95, 60) = 0; \varphi_2(100, 50) = 0, \varphi_2(100, 100) = 1, \varphi_2(100, 150) = 0; \varphi_3(\text{高}) = 0.8, \varphi_3(\text{中}) = 0.2$ 。

③ 计算匹配度,利用式(6)计算输入对第 k 条规则的匹配程度可得, $\alpha_2 = 0.3, \alpha_5 = 0.1, \alpha_{11} = 0.075, \alpha_{14} = 0.025$ 。利用式(8)计算转换后数据对第 k 条规则归一化后的激活程度可得, $\omega_2 = 0.6, \omega_5 = 0.2, \omega_{11} = 0.15, \omega_{14} = 0.05, \mu_2 = 1, \mu_5 = 1, \mu_{11} = 1, \mu_{14} = 1$ 。

④ 构造基本可信数,利用式(9)构造基本可信数得, $(m_{1,2}, m_{2,2}, m_{3,2}, m_{R,2}, \bar{m}_{R,2}, \tilde{m}_{R,2}) = (0.54, 0.06, 0, 0.4, 0.4, 0), (m_{1,5}, m_{2,5}, m_{3,5}, m_{R,5}, \bar{m}_{R,5}, \tilde{m}_{R,5}) = (0.16, 0.04, 0, 0.8, 0.8, 0), (m_{1,11}, m_{2,11}, m_{3,11}, m_{R,11}, \bar{m}_{R,11}, \tilde{m}_{R,11}) = (0.105, 0.03, 0.015, 0.85, 0.85, 0), (m_{1,14}, m_{2,14}, m_{3,14}, m_{R,14}, \bar{m}_{R,14}, \tilde{m}_{R,14}) = (0.0325, 0.0125, 0.005, 0.95, 0.95, 0)$ 。

⑤ 证据组合,根据式(10)计算可得, $k = 1.0851, m_l = 0.6384, \bar{m}_R = 0.2804, \beta_l = 0.8936, \beta_R = 0.1024, \beta_T = 0.0495$, 即毁伤能力 C_2 (高,中,低)等级的信度值为 $(0.8936, 0.1024, 0.0495)$ 。

2) 计算总效能 C_1 。

同理,可计算机动保障能力 C_4 (高,中,低) = $(0.8759, 0.0286, 0.0955)$, 突防能力 C_6 (高,中,低) = $(0.85, 0.15, 0)$ 。计算总效能 C_1 时,考虑到激活的规则数量过多,利用 Matlab 软件编程实现算法。计算A型导

弹的效能 C_{1A} (高,中,低) = (0.893 6, 0.102 4, 0.004)。

通过评估计算,得到 A 型导弹作战效能为高的概率为 89.36%,即使用 A 型导弹作战时,可以认为有 89.36% 的概率完成作战任务。

3) 多型导弹效能对比。

A 型导弹是 B 型导弹的改进型, B 型导弹是 C 型导弹的改进型。B 型导弹的目标识别概率 $C_7 = (75, 1)$, 其他能力取值与 A 型导弹相同。C 型导弹的目标识别概率 $C_7 = (75, 1)$, 命中精度 $C_8 = (100, 1)$, 其他能力取值与 A 型导弹相同, 分别计算两种型号导弹的效能: B 型导弹的效能 $C_{1B} = (0.822 0, 0.137 4, 0.040 6)$, C 型导弹的效能 $C_{1C} = (0.793 3, 0.157 2, 0.049 5)$ 。如图 4 所示, A 型导弹与旧型号导弹相比, 其效能等级的信度增加幅度较大, 其中, 目标识别概率较命中精度变化对导弹效能等级的信度影响更大, 原因是规则库中目标识别概率对上层能力影响更大。

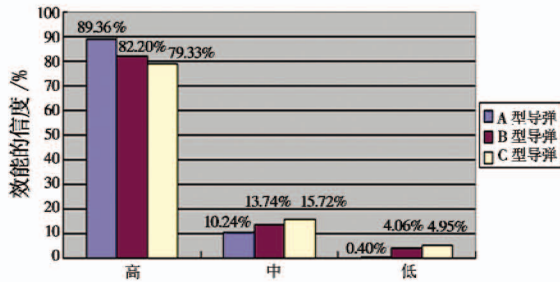


图 4 3 种型号导弹效能对比图

Fig. 4 Effectiveness comparison of three types of missile

4 总结

针对 ECCSoMS 效能评估问题, 首先利用 DoDAF 方法建立 ECCSoMS, 以视图为基础详细分析构建过程, 给出 ECCSoMS。其次利用 RIMER 方法有效克服底层输入指标类型多样、评估信息不完全问题, 融合实验

数据和专家知识, 评估 ECCSoMS 效能。在应用 RIMER 方法评估 ECCSoMS 效能时, 其关键是如何构造信度规则库。针对信度规则库的优化和可信度问题需要做进一步研究。

参考文献

- [1] WANG J, JIE Z, FENG Y, et al. Research on architecture modeling of the strategic early-warning system based on DoDAF[C]//Proceedings of the 32nd Chinese Control Conference, 2013:8681-8686.
- [2] C⁴ISR Architecture Working Group. C⁴ISR architecture framework version 2.0[R]. Washington: Department of Defense, 1997.
- [3] 张春华. 基于作战环的作战体系网络化建模与作战效能分析[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2012.
- [4] YANG J B, LIU J, WANG J, et al. Belief rule-based inference methodology using the evidential reasoning approach-RIMER[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 2006, 36(2): 266-285.
- [5] WANG Y M, YANG J B, XU D L. Environmental impact assessment using the evidential reasoning approach[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174(3): 1885-1913.
- [6] CHEN Y W, YANG J B, XU D L, et al. On the inference and approximation properties of belief rule based systems[J]. Information Sciences, 2013, 234(10): 121-135.
- [7] The Department of Defense Architecture Framework Version 2.0[Z]. Volume I, II, III. May, 2009.
- [8] 常雷雷. 武器装备体系技术贡献度评估方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.
- [9] 程贲. 基于能力的武器装备体系评估方法与应用研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2012.



请扫描二维码关注我刊