

改进模糊综合评价法的军地联合信息 通信保障效能评估

陈俊^{1,2}, 李建华¹

(1. 空军工程大学信息与导航学院, 西安, 710077; 2. 空军工程大学研究生院, 西安, 710051)

摘要 针对信息通信作战需求和军地联合信息通信系统的特点,提出了基于改进模糊综合评价的军地联合信息通信保障效能评估方法。首先,利用层次分析法分析影响军地联合信息通信保障效能的关键因素,引入改进的德尔菲法构建评估指标体系;其次,通过1-9标度法计算得到各层指标的权重,并进行一致性检验;然后,采用主客观评价结合的方式,在对定量指标直接评价的基础上,利用模糊数学理论将定性指标进行量化,进而得到效能评估计算模型,从而提升了定性指标量化的客观性;最后,利用实际算例验证了该评估方法的有效性,并给出了完善军地联合信息通信保障系统的对策建议,为军地联合信息通信系统的优化使用、效能提升等提供了重要参考。

关键词 军地联合;信息通信保障;效能评估;德尔菲法;模糊综合评价

DOI 10.3969/j.issn.2097-1915.2025.02.007

中图分类号 E962;N945.1 **文献标志码** A **文章编号** 2097-1915(2025)02-0055-07

An Improved Fuzzy Comprehensive Evaluation Method for Effectiveness Evaluation of Military-Civilian Integrated Information and Communication Support

CHEN Jun^{1,2}, LI Jianhua²

(1. Information and Navigation School, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China;

2. Graduate School, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract According to the requirements of information-communication operations and the characteristics in military-civilian integrated information-communication system, an effectiveness evaluation method of military-civilian integrated information and communication support is proposed based on improved fuzzy comprehensive evaluation. Firstly, the key factors to affect the effectiveness of civil-military integrated information and communication support is analyzed by the analytic hierarchy process (AHP), and an evaluation index system is constructed by the improved Delphi method. Secondly, the weight of every layer index is calculated by 1-9 scale method, and the consistency is checked. And, based on the direct evaluation of quantitative indicators, the qualitative indicators are quantified by using fuzzy mathematics theory, thus obtaining the effectiveness evaluation calculation model, and improving the objectivity of the quantification of qualitative indicators. Finally, the effectiveness of the evaluation method is verified by a practical example, and the countermeasures and suggestions for improving the military civilian integration information and communication support system are given. This provides important reference for the optimization and efficiency improvement of military civilian integration information and communication systems.

收稿日期: 2024-09-09

作者简介: 陈俊(1992—),男,甘肃民勤人,硕士生,研究方向为军事信息通信指挥。E-mail:604465315@qq.com

引用格式: 陈俊,李建华.改进模糊综合评价法的军地联合信息通信保障效能评估[J].空军工程大学学报,2025,26(2):55-61. CHEN Jun, LI Jianhua. An Improved Fuzzy Comprehensive Evaluation Method for Effectiveness Evaluation of Military-Civilian Integrated Information and Communication Support[J]. Journal of Air Force Engineering University, 2025, 26(2): 55-61.

Key words military-civilian integration; information and communication support; effectiveness evaluation; the Delphi method; fuzzy comprehensive evaluation

随着国家军地联合发展战略的深入推进以及军事信息通信保障需求水平的日益提高,采用军地联合方式开展信息通信保障已成为提升军队通信保障能力的重要途径之一^[1-5]。为科学、准确评价军地联合机制对军队信息通信系统的影响,进一步促进军队信息通信保障效能的提升,军地联合信息通信保障效能评估方法成为需要关注的关键问题之一。

传统信息通信效能评估方法能够考虑到不同军事信息通信系统的特点,并通过引入新方法的方式提高评估的准确性。然而,这些方法缺乏对军地联合信息通信系统新特点和新机制的考虑。例如,邱少明等^[6]提出了基于 BP 神经网络的军事通信效能评估方法,提高了气象因素影响下的军事通信效能评估准确性。胡昌栋等^[7]将灰色层次分析法引入通信保障效能评估中,提高了信息不完全情况下的定量评估精度。刘仕雷等^[8]对 ADC 方法进行了改进,提高了武器装备系统效能评估的可信度。Wang 等^[9]和 Shao 等^[10]分别提出了针对卫星星座和单颗卫星的通信系统效能评估方法,提高了卫星通信系统效能评估的准确性;文献^[11~15]分别探索了无人机集群、抗干扰通信、防空反导指控系统、移动通信的效能评估方法。然而,军地联合信息通信保障具有网系融合复杂、数据采集难度大、指标量化主观性强等特点,以上方法并不完全适用。

为此,本文提出了一种改进模糊综合评价的军地联合信息通信保障效能评估方法。与传统方式相比,所提方法将层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)、改进德尔菲法和模糊数学理论有机结合,充分考虑了军地联合机制和特点,从而提高了评估的准确性和客观性。首先,分析影响军地联合信息通信保障效能的因素,利用层次分析法和改

进的德尔菲法构建评估指标体系,得到指标权重,并进行一致性检验;然后,采取主观和客观评估相结合的方式,引入模糊数学理论,通过构造模糊矩阵对具体指标进行评价,得到相应的隶属度函数,从而得到系统效能的计算模型。实际算例表明,所提方法能够为信息通信保障方案的选择、军地联合信息通信保障系统建设提供参考和依据。

1 军地联合信息通信保障效能评估指标体系

1.1 军地联合信息通信保障效能的定义

美国工业界武器效能咨询委员会对系统效能的定义为:系统能够满足(或完成)一组特定任务要求的量度。军地联合信息通信系统不属于武器系统,其不直接参与作战打击,属于作战保障力量。为此,本文将其定义为:在作战条件下,军地联合信息通信系统执行信息通信保障任务所能达到的程度。

1.2 指标体系构建

本文考虑战场环境下军地联合信息通信系统的信息通信能力、可靠性、网系融合能力和人员能力,构建“目标层、准则层、指标层”3 层指标体系。

1.2.1 指标体系

为了对军地联合信息通信保障效能进行准确评估,需要遵循系统全面、统筹兼顾、客观明确、可量化等原则。为此,采用改进的德尔菲法进行专家咨询,包括军队和地方通信专业专家、参谋人员、部队指挥员、技术骨干、装备生产和维修人员。与传统德尔菲法^[16-17]不同,前 2 轮咨询用于第 3 层指标的筛选,后 2 轮用于指标权重的确定。指标体系构建如图 1 所示。

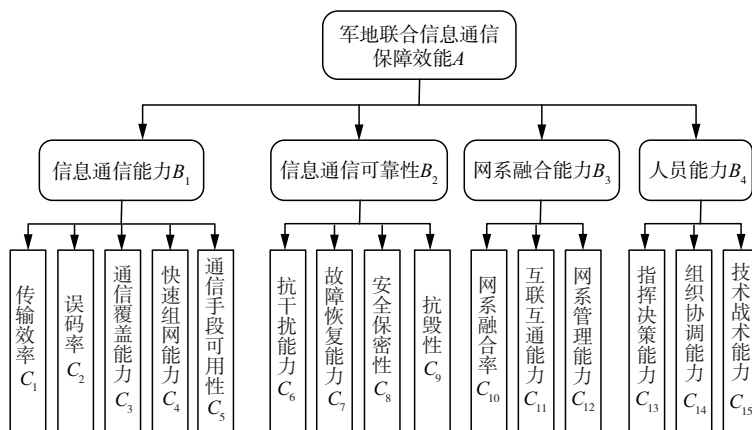


图 1 军地联合信息通信保障效能评估指标体系

Fig. 1 Evaluation index system for the effectiveness of military-civilian integrated information and communication support

对指标体系具体说明如下:

信息通信能力 B_1 由传输效率、误码率、通信覆盖能力、快速组网能力、通信手段可用性来反映。

传输效率 C_1 包括传输速率、信道容量、带宽、信噪比、传输时延等,是系统有效性的重要指标。误码率 C_2 表示码元被错误接收的概率,误码率越小,相应数据的传输质量越高。通信覆盖能力 C_3 指通信能够覆盖空间的大小,反映了系统保障空间范围的大小。快速组网能力 C_4 为网络构建所用时间,是执行任务速度的重要体现。通信手段可用性 C_5 需要考虑通信方式多样性、备份方案以及频谱资源可用性等因素,反映了通信手段的储备情况。

信息通信可靠性 B_2 反映了在战场环境下,通信保障能否顺畅和持续,用抗干扰能力、故障恢复能力、安全保密性、抗毁性来体现。

抗干扰能力 C_6 是指系统在有意无意电磁干扰的情况下能否将信息有效传递。故障恢复能力 C_7 由装备故障率、可维修性、维修时间等因素体现,反映了系统整体的可靠性。安全保密性 C_8 用来评价信息的安全、保密使用和传输,可通过传输信息加密情况、抗截获安全防护情况、病毒库、密钥更新等因素来进行评判^[18]。抗毁性 C_9 用来评价系统抗硬摧毁及不可预测破坏的能力,与系统节点布设的合理性、隐蔽性、受到破坏后的恢复能力等因素有关。

网系融合能力 B_3 反映了系统对于融合系统的使用能力,包括融合深度、广度等因素^[19],指标构建为网系融合率、互联互通能力和网系管理能力。

网系融合率 C_{10} 是指军用和地方通信网络的融合程度,融合程度越高,网络可用性更好。互联互通能力 C_{11} 是指网络融合后的互联互通情况,可用网络的度和各边权重等反映,网络的度越大,可互联的节点越多;网络各边的权重越大,传输的效果越好。网系管理能力 C_{12} 是指对军地联合信息通信网络资源的使用管理水平。

人员能力 B_4 是信息通信能否发挥最大效能的重要因素。这里以指挥决策能力、组织协调能力、技术战术能力来体现。

指挥决策能力 C_{13} 是指参谋人员或指挥员提供科学可行的预案以及准确态势信息等信息能力,是顺利完成通信保障任务的基础和前提。组织协调能力 C_{14} 反映了指挥员领会、传达上级指令,以及组织协调人员、装备顺利实施任务的能力水平。技术战术能力 C_{15} 包括通信专业技能的熟练程度、战术运用能力、遇到突发事件的处理能力等,是影响任务完成质量好坏的重要因素。

1.2.2 指标权重的确定

在改进德尔菲法后 2 轮专家咨询中,采用 1-9

比例标度法^[16]建立准则层 B 相对于目标层 A 的判断矩阵,以及指标层 C 对准则层 B 的判断矩阵。其最大特征向量的每个元素代表了对应指标对上层目标的贡献率。根据上述讨论,结合改进德尔菲法的咨询结果,得到准则层对目标层的判断矩阵 \hat{A} 为:

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 & 3 \\ 1/3 & 1 & 2 & 1 \\ 1/4 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

得到判断矩阵后,问题就转化为求解该矩阵最大特征值对应的特征向量,即可得到准则层 B 各因素对于目标层 A 的权重为:

$$W_B = [0.515\ 8, 0.189\ 4, 0.105\ 4, 0.189\ 4] \quad (2)$$

引入一致性指标 CI 来衡量判断矩阵是否具有 consistency。将 $CI \leq 0.1$ 认为判断矩阵具有一致性。其检验式为:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

式中: λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值; n 为判断矩阵维数。将矩阵 \hat{A} 最大特征值代入式(3),可得:

$$CI = \frac{4.020\ 6 - 4}{4 - 1} = 0.006\ 9 \quad (4)$$

因此,可认为该矩阵具有良好的 consistency。

综上所述,信息通信传输能力、通信可靠性、网络保障能力、人员素质的权重分别为:0.515 8、0.189 4、0.105 4、0.189 4。

同理可求得指标层 C 对于准则层 B 的判断矩阵和相应权重。如表 1~表 4 所示。

表 1 指标层相对于准则层 B_1 的判断矩阵 \hat{B}_1 及权重

Tab. 1 Judgment matrix \hat{B}_1 and weights of the indicator layer relative to criterion layer B_1

B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	W_{C_1}
C_1	1	1	2	3	3	0.313 3
C_2	1	1	2	3	3	0.313 3
C_3	1/2	1/2	1	2	2	0.176 3
C_4	1/3	1/3	1/2	1	1	0.098 6
C_5	1/3	1/3	1/2	1	1	0.098 6

判断矩阵 \hat{B}_1 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 5.013\ 3$, 得出 $CI = 0.003\ 3$, 小于 0.1。

表 2 指标层相对于准则层 B_2 的判断矩阵 \hat{B}_2 及权重

Tab. 2 Judgment matrix \hat{B}_2 and weights of the indicator layer relative to criterion layer B_2

B_2	C_6	C_7	C_8	C_9	W_{C_2}
C_6	1	2	2	3	0.423 6
C_7	1/2	1	1	2	0.227 0
C_8	1/2	1	1	2	0.227 0
C_9	1/3	1/2	1/2	1	0.122 3

判断矩阵 \hat{B}_2 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 4.0104$, 得出 $CI = 0.0035$, 小于 0.1 。

表 3 指标层相对于准则层 B_3 的判断矩阵 \hat{B}_3 及权重

Tab. 3 Judgment matrix \hat{B}_3 and weights of the indicator layer relative to criterion layer B_3

B_3	C_{10}	C_{11}	C_{12}	W_{C_3}
C_{10}	1	2	5	0.625 0
C_{11}	1/2	1	3	0.238 5
C_{12}	1/5	1/3	1	0.136 5

判断矩阵 \hat{B}_3 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 3.0183$, 得出 $CI = 0.0046$, 小于 0.1 。

表 4 指标层相对于准则层 B_4 的判断矩阵 \hat{B}_4 及权重

Tab. 4 Judgment matrix \hat{B}_4 and weights of the indicator layer relative to criterion layer B_4

B_4	C_{13}	C_{14}	C_{15}	W_{C_4}
C_{13}	1	2	1/2	0.297 0
C_{14}	1/2	1	1/3	0.163 4
C_{15}	2	3	1	0.539 6

判断矩阵 \hat{B}_4 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 3.0092$, 得出 $CI = 0.0046 < 0.10$ 。

经检验, 以上判断矩阵均具有较好的一致性。于是得到了指标体系的权重。

2 军地联合信息通信保障效能评估方法

指标体系中, 大多数指标具有一定的模糊性, 难以直接用具体的数字量表述, 但如果仅仅利用主观进行量化, 可能会与实际情况不符。为此, 本文提出改进的模糊综合评价法。对于客观性指标, 如误码率、通信覆盖能力等, 直接采用其具体数值进行评价, 确保评价的准确性。对于其他指标, 采用定量和定性结合的方式, 通过引入影响指标变化的各个要素, 利用模糊理论和隶属度矩阵结合专家打分的方式对其进行量化评价, 确保评价的客观性。

2.1 评语集确定

采用 5 级评语划分法, 将评语赋予相应的分数, 依据备选方案或系统相应指标的好坏程度, 对其进行模糊语言评分。这里划分为 5 个等级, 定义评价集 $V = \{\text{优, 良, 中, 差, 极差}\}$, 相应的分数集为 $\{100, 80, 60, 40, 20\}$ 。

2.2 模糊评判矩阵的构造

设置好评语集后, 问题就转化为对各个方案或系统进行评价。隶属度矩阵的构造方法包括频率法、隶属度函数法、专家评判法等。为增加评价准确性, 在提供影响指标变化要素的基础上, 选取多位专家对备选方案或系统各个指标进行评价, 得到各个

指标的模糊评判向量 $\mathbf{R}_j = r_{ij}$ 。其中, r_{ij} 表示第 i 名专家对第 j 个指标进行的评价。

为减小专家主观性对评价结果的影响, 以指标中某评价个数占总专家人数的百分比作为隶属度函数, 从而将模糊判断向量转化为隶属度向量 $e = e_{mn}$ 。例如, 20 名专家对某项指标优、良、中、差、极差的评价分别为 2、6、5、3、4 人, 那么隶属度向量为 $[0.1, 0.3, 0.25, 0.15, 0.2]$ 。之后, 各指标的隶属度向量组成隶属度矩阵 \mathbf{S}_{C_k} , 其中, k 代表准则层第 k 个因素对应的各个指标, 同理, 准则层各因素的隶属度向量也可组成隶属度矩阵 \mathbf{S}_B 。

对于可量化的指标, 只需要将其相应的定量指标对应于 5 级评语, 然后将其评语相对应的隶属度函数的元素置为 1, 其他元素置为 0。例如, 通信方案在保障地域中的通信覆盖率为 100%, 则相应的隶属度向量为 $[1, 0, 0, 0, 0]$ 。因此, 采用上述主观和客观的量化方法, 能够较为准确地对系统进行评价。

2.3 模糊综合评价

利用各层的权重向量以及信息通信保障方案各指标的隶属度矩阵, 即可得到方案或系统的综合隶属度。其计算式为:

$$\mathbf{E} = \mathbf{W}_B \mathbf{S}_B \quad (5)$$

$$\mathbf{S}_{B_k} = \mathbf{W}_{C_k} \mathbf{S}_{C_k} \quad (6)$$

式中: $k = 1, 2, 3, 4$ 。综合隶属度能够反映专家对某一方案或系统效能的综合评价情况以及评价意见的集中分散情况。为直观得到各方案的优劣, 引入综合评价得分, 其计算式为:

$$P = \mathbf{U} \mathbf{E}^T \quad (7)$$

式中: $\mathbf{U} = [100, 80, 60, 40, 20]$ 为评价分数集对应的向量。根据综合评价得分, 即可对不同的信息通信保障方案或系统进行比较, 从而得到最佳方案或对系统进行改进。

3 算例分析

在某次信息通信保障任务中, 某单位保障区域包括城市、山区等地域, 具有保障范围大、电磁环境复杂、人员配备紧张等特点。为充分利用军地资源, 该单位拟采用军地联合方式开展信息通信保障。

该单位在演练阶段分别采用了军地联合方式和传统方式进行信息通信保障。为比较二者保障效能的差异, 将所得的数据进行了整合以及合理的简化, 利用所提评估模型, 并邀请了 20 名专家进行评价。

3.1 构建指标层隶属度矩阵

3.1.1 军地联合信息通信保障方案

信息通信能力中, 传输效率、误码率和通信覆盖

率可直接通过计算得到,根据计算结果直接判定等级。例如,在该次演习中,军地联合信息通信保障方案能够覆盖96.5%的任务区域,将通信覆盖能力判定为优秀,隶属度向量为 $[1,0,0,0,0]$ 。

快速组网能力和通信手段可用性由20名专家进行评定。对于快速组网能力,2名专家认为达到优秀,13名专家认为该能力为良好,7名专家该能力为中。则可得到相应的隶属度向量为 $[0.1,0.65,0.35,0,0]$ 。

经客观指标评定、专家评价以及数据统计,该方案信息通信能力的指标层隶属度矩阵为:

$$S_{C_1}^1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.65 & 0.35 & 0 & 0 \\ 0.55 & 0.2 & 0.2 & 0.05 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

从隶属度矩阵可得:军地联合信息通信保障方案的传输效率、误码率指标评价为良,通信覆盖能力评价为优,65%的专家认为快速组网能力为良,55%专家认为通信手段可用性指标为优。

对于信息通信可靠性的各项指标,采用定量和定性结合的方式进行量化。以安全保密性为例,其与传输信息加密情况、抗截获安全防护情况、密钥更新等因素相关。将这些数据进行统计,将其与隶属度矩阵结合,通过专家评分的方式进行量化评价。于是,得到信息通信可靠性的指标层隶属度矩阵为:

$$S_{C_2}^1 = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.55 & 0.15 & 0.05 & 0 \\ 0.05 & 0.3 & 0.5 & 0.15 & 0 \\ 0.1 & 0.35 & 0.5 & 0.05 & 0 \\ 0.35 & 0.55 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

从隶属度矩阵可得:对于抗干扰能力,55%的专家评价为良;对于故障恢复能力,50%的专家评价为中;对于安全保密性,50%的专家评价为中;对于抗毁性,55%的专家评价为良。

同理可得该方案网系融合能力指标层对应的隶属度矩阵为:

$$S_{C_3}^1 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.35 & 0.05 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.4 & 0.35 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

从隶属度矩阵来看,专家对网系融合率和网系管理能力的评价较为分散,评价为良和中的相对占多数;互通互联性经客观评价为良。

人员能力指标层对应的隶属度矩阵为:

$$S_{C_4}^1 = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.35 & 0.45 & 0.1 & 0 \\ 0.05 & 0.1 & 0.55 & 0.15 & 0.15 \\ 0.1 & 0.4 & 0.45 & 0.05 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

3.1.2 传统信息通信保障方案

传统信息通信保障方案没有进行军地联合,为保证其与军地联合保障方案对比的公正性,这里将网系融合能力 B_3 的隶属度矩阵与军地联合保障方案保持一致。各指标的隶属度矩阵为:

$$S_{C_1}^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.35 & 0.5 & 0.15 & 0 \\ 0 & 0.05 & 0.3 & 0.55 & 0.1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$S_{C_2}^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.15 & 0.6 & 0.25 & 0 \\ 0.15 & 0.45 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.15 & 0.05 & 0 \\ 0.05 & 0.35 & 0.45 & 0.15 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$S_{C_3}^2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.35 & 0.05 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.4 & 0.35 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$S_{C_4}^2 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.45 & 0.35 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.55 & 0.3 & 0.05 & 0 \\ 0.15 & 0.5 & 0.35 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

3.2 计算准则层隶属度矩阵

根据式(6),求得不同方案准则层因素的综合隶属度函数,其中,军地联合信息通信保障方案下准则层 B_1 的隶属度向量为:

$$S_{B_1}^1 = W_{C_1} S_{C_1}^1 = [0.2404, 0.7104, 0.0542, 0.0049, 0] \quad (16)$$

将其归一化,得到 B_1 的隶属度函数为:

$$S_{B_1}^1 = [0.238, 0.7034, 0.0537, 0.0049, 0] \quad (17)$$

同理可得 B_2 、 B_3 、 B_4 的隶属度函数,构建准则层隶属度矩阵为:

$$S_B^1 = \begin{bmatrix} 0.238 & 0.7034 & 0.0537 & 0.0049 & 0 \\ 0.1807 & 0.4428 & 0.2994 & 0.0771 & 0 \\ 0.1455 & 0.5431 & 0.2665 & 0.0449 & 0 \\ 0.077 & 0.3092 & 0.5082 & 0.0812 & 0.0245 \end{bmatrix} \quad (18)$$

同理,可计算得到传统信息通信保障方案下准则层的隶属度矩阵为:

$$S_B^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.3478 & 0.5734 & 0.069 & 0.0099 \\ 0.0856 & 0.3447 & 0.4114 & 0.1583 & 0 \\ 0.1455 & 0.5431 & 0.2665 & 0.0449 & 0 \\ 0.127 & 0.4933 & 0.3418 & 0.0379 & 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

根据式(5),并对结果进行归一化,从而得到军地联合信息通信保障方案和传统方案的综合隶属度分别为:

$$\mathbf{E}^1 = \mathbf{W}_B \mathbf{S}_B^1 = [0.186\ 9, 0.562\ 5, 0.208\ 7, 0.037\ 2, 0.004\ 6] \quad (20)$$

$$\mathbf{E}^2 = \mathbf{W}_B \mathbf{S}_B^2 = [0.055\ 6, 0.395\ 4, 0.466\ 5, 0.077\ 5, 0.005\ 1] \quad (21)$$

根据式(7),将上述综合隶属度与评语集的分数量加权求和,得到军地联合信息通信保障方案和传统信息通信方案效能的综合得分分别为:

$$P^1 = \mathbf{U}(\mathbf{E}^1)^T = 77.795\ 9 \quad (22)$$

$$P^2 = \mathbf{U}(\mathbf{E}^2)^T = 68.377\ 5 \quad (23)$$

3.3 结果分析

从上述结果可以看出,在该任务演练中,军地联合信息通信保障方案的总体效能比传统方案提高了13.78%,这与实际情况基本相符。这说明军地联合信息通信保障方案能够有效利用资源,提升整体信息通信保障效能。

信息通信能力方面,由于额外使用了地方通信资源,军地联合信息通信保障方案提升了系统容量、覆盖范围、网络组建的效率,增加了新的通信手段;误码率方面,2种保障方案能效基本一致。总体来看,军地联合信息通信保障方案的信息通信能力被评为优良的比例为94.14%,而传统方案仅为34.78%。

信息通信可靠性方面,由于增加了新的网络节点,军地联合信息通信保障的抗干扰能力和抗毁性明显优于传统方案。然而,这也增加了系统的复杂度,故障恢复能力和安全保密性有所降低。总体而言,其指标优良的比例比传统方案高19.32%。

网系融合能力方面,由于本次演练是该单位首次采用军地联合方案进行保障,因此其网系融合率、互联互通能力和网系管理能力还有提升的空间。

人员能力方面,由于军地联合信息通信保障方案增加了部分新业务,系统更为复杂,人员能力准备不足,业务还不够熟练,所以军地联合信息通信保障方案的人员能力被评为优良的比例为38.62%,而传统方案优良的比例为62.03%。

总体来看,军地联合方案信息通信效能比传统方案高。但是,在某些指标上不及传统方案,还有提升的空间,具体建议如下:

1)信息通信能力方面,需加强军地联合信息通信系统总体设计,可采用图论、复杂网络等理论对网络节点和链路优化,进一步规划电磁频谱资源,从而提高网络传输效率、误码率等指标。

2)信息通信可靠性方面,军地联合信息通信保障方案的系统复杂性有所增加,一方面,需要把握新设备和链路的特点,提高系统的故障恢复能力;另一方面,需要加强融合网络的安全性和保密性设计。

3)网系融合能力方面,还需加强军用和地方网

系的融合,进一步建设并完善军地联合信息通信网络,促进其标准、接口等方面的统一,提升二者的互联互通性,避免“两张皮”的现象。同时,需要研究新网络的特点,不断提升网系管理能力。

4)人员能力方面,需要大力培养军地联合信息通信保障人才,并区分人员类别,对指挥管理人员和专业技术人员进行针对性培训,提高人员指挥决策能力、组织协调能力与技术战术能力,从而充分发挥军地联合的优势。

4 结语

本文提出了一种改进模糊综合评价的军地联合信息通信保障效能评估方法。与传统方法相比,所提方法采用主观量化和客观评价相结合的方式,有效提升了军地联合信息通信效能评估的客观性和准确性,为军地联合信息通信系统的改进和进一步建设提供重要的参考。下一步,将考虑强对抗、复杂电磁环境等不同场景的需求和特点,进一步完善、细化指标体系,扩大模型和评估方法的适用范围;另一方面,在更多实际数据的支持下,进一步对主观性指标进行科学量化,从而持续提升评估方法的客观性。

参考文献

- [1] 惠鹏,李红卫.关于军民融合条件下提升军队通信保障能力的再思考[J].信息通信,2019,32(2):249-250.
HUI P, LI H W. Rethinking on Improving the Military Communication Support Capability under the Condition of Integration of Defense and Civilian Technologies[J]. Information & Communications, 2019, 32(2): 249-250. (in Chinese)
- [2] 叶磊.浅谈美国卫星通信系统军民融合现状及前景[J].数字技术与应用,2021,39(5):22-24.
YE L. Talking about the Current Situation and Prospects of the Military-Civilian Integration of the US Satellite Communication System[J]. Digital Technology & Application, 2021, 39(5): 22-24. (in Chinese)
- [3] 惠鹏.军民融合条件下军用光缆网通信保障研究[D].长沙:国防科技大学,2021.
HUI P. Research on Communication Guarantee of Military Optical Cable Network under Integration of Defense and Civilian Technologies Condition [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2021. (in Chinese)
- [4] 李传亮,倪枫,伍华安.推进信息通信工程军民融合发展的思考[J].中国新通信,2018,20(2):149.
LI C L, NI F, WU H A. Thoughts on Promoting the Development of Information and Communication Engineering in Integration of Defense and Civilian Technologies[J]. China New Telecommunications, 2018, 20

- (2): 149. (in Chinese)
- [5] 蒲芸,曾州石,戴崢. 构建军民融合式通信保障体系配套机制初探[J]. 通讯世界,2016(10):9-10.
PU Y,ZENG Z S,DAI Z. A Preliminary Study on the Supporting Mechanism of Integration of Defense and Civilian Technologies-Style Communication Guarantee System[J]. Telecom World,2016(10):9-10. (in Chinese)
- [6] 邱少明,王雪珂,杜秀丽,等. 基于优化 BP 神经网络的气象环境下军事通信效能评估[J]. 火力与指挥控制,2022,47(3): 89-96.
QIU S M,WANG X K,DU X L,et al. Evaluation of Military Communication Effectiveness in Meteorological Environment Based on Optimized BP Neural Network[J]. Fire Control & Command Control,2022,47(3): 89-96. (in Chinese)
- [7] 胡昌栋,滑楠,岳地久,等. 基于灰色层次分析法的机动通信系统效能评估[J]. 火力与指挥控制,2020,45(11): 106-112.
HU C D,HUA N,YUE D J,et al. Effectiveness Evaluation of Mobile Communication System Based on Gray-AHP[J]. Fire Control & Command Control,2020,45(11): 106-112. (in Chinese)
- [8] 刘仕雷,李昊. 改进 ADC 方法及其在武器装备系统效能评估中的应用[J]. 国防科技大学学报,2017,39(3): 130-135.
LIU S L,LI H. Modified ADC Method and Its Application for Weapon System Effectiveness Evaluation [J]. Journal of National University of Defense Technology,2017,39(3): 130-135. (in Chinese)
- [9] WANG Y J,HU X X,WANG L D. Effectiveness Evaluation Method of Constellation Satellite Communication System with Acceptable Consistency and Consensus under Probability Hesitant Intuitionistic Fuzzy Preference Relationship[J]. Soft Computing,2022,26(22): 12559-12581.
- [10] SHAO R R,FANG Z G,TAO L Y,et al. A Comprehensive G-Lz-ADC Effectiveness Evaluation Model for the Single Communication Satellite System in the Context of Poor Information[J]. Grey Systems: Theory and Application,2022,12(2): 417-461.
- [11] 刘涛,于楠,王方奕,等. 基于模糊综合评价的无人集群系统效能评估[J]. 指挥信息系统与技术,2023,14(4): 20-25,44.
LIU T,YU N,WANG F Y,et al. Effectiveness Evaluation of Unmanned Cluster System Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Command Information System and Technology,2023,14(4): 20-25,44. (in Chinese)
- [12] 禹明刚,徐煜华. 军事智能抗干扰通信效能评估综述[J]. 军事运筹与系统工程,2021,35(1): 73-80.
YU M G,XU Y H. Review on Effectiveness Evaluation Method of Military Intelligent Anti-Jamming Communication[J]. Military Operations Research and Systems Engineering,2021,35(1): 73-80. (in Chinese)
- [13] 郭蓬松,李江,李龙跃,等. 基于 IFE-GC 的防空反导一体化作战能力评估[J]. 空军工程大学学报,2023,24(4): 35-41.
GUO P S,LI J,LI L Y,et al. An Evaluation Method of Combat Capability for Air and Missile DeFense Integration Basedon IFE-GC[J]. Journal of Air Force Engineering University,2023,24(4): 35-41. (in Chinese)
- [14] JIA G H,ZHOU J. Effectiveness Evaluation Method of Application of Mobile Communication System Based on Factor Analysis[J]. Sensors,2021,21(16): 5414.
- [15] GAO L J,CHEN L,YU F K. The Research on Effectiveness Evaluation of Mobile Broadband Wireless Communication System[J]. Journal of Physics: Conference Series,2020(1): 012061.
- [16] 程宇,林健,孙艳超,等. 基于层次分析法的车载通信系统通信保障能力分析[J]. 舰船电子工程,2022,42(5): 65-68.
CHENG Y,LIN J,SUN Y C,et al. Analysis of Communication Support Capability of Vehicular Communication System Based on Analytic Hierarchy Process [J]. Ship Electronic Engineering,2022,42(5): 65-68. (in Chinese)
- [17] 张庆东,蒋晓瑜. 一种基于德尔菲法和模糊综合评价的侦察装备运用效能评估方法[J]. 信息通信,2020,33(11): 161-163.
ZHANG Q D,JIANG X Y. Evaluation of Reconnaissance Equipment Utilization Efficiency Based on Delphi Method and Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Information & Communications,2020,33(11): 161-163. (in Chinese)
- [18] 何鹏,王晖,黎云兵,等. 军民融合陆军装备维修保障体系能力评估[J]. 火力与指挥控制,2021,46(11): 73-81.
HE P,WANG H,LI Y B,et al. Research on Capability Evaluation of Military Civilian Integration Army Equipment Maintenance Support System[J]. Fire Control & Command Control,2021,46(11): 73-81. (in Chinese)
- [19] 卢雪. 基于层次分析法的军民融合评估指标分析[J]. 中国集体经济,2018(31): 104-106.
LU X. Evaluation Index Analysis of Integration of Defense and Civilian Technologies Based on AHP[J]. China Collective Economy,2018(31): 104-106. (in Chinese)

(编辑:刘勇)