

一种军事通信网络效能评估专家意见融合方法

王 恺, 夏靖波, 罗 鑫

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘 要:为解决军事通信网络效能评估中专家评估冲突意见的融合问题,提出了一种新的融合方法。新方法首先利用多属性群决策层次评估方法对专家的评估意见进行量化处理,得到针对某一指标的专家评判意见的信任度函数。然后利用改进的证据理论合成规则对专家评判意见的信任度函数进行融合。最后,通过算例对文中的方法进行了验证。与利用经典的合成规则融合专家评估意见相比,新方法有效的解决了高冲突意见融合中存在的“一票否决”等现象,并且具有更好的鲁棒性。新方法应用于军事通信网络效能评估中专家评估意见融合时,可以客观地反映专家的评估意见。

关键词:军事通信网络;效能;评估意见;融合方法

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.05.014

中图分类号: TN915; E96 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)05-0065-05

军事通信网效能评估专家意见融合问题属于具有不确定信息的多属性群决策层次评估问题。针对此类群决策问题,苏波、张斌、Hakil Kim 等人进行了深入的研究^[1-3]。杨萍等在此基础上将证据理论与群决策层次评估方法相结合,构造了一种表示专家不确定意见的信任度方法,解决了在这种表示下的群体意见和多个指标的层次综合问题^[4]。但其中关于专家评估意见的融合方法仍采用经典证据理论合成规则,冲突证据问题没有得到很好的解决,进而影响了专家评估意见融合的准确性和可信性。证据理论冲突证据的合成问题,国内外的一些学者都对其进行了研究和改进^[5-11]。文献[12]和文献[13]分别对合成规则中的证据损耗和信念函数中的冲突程度进行了分析。文献[14]提出采用证据加权平均法来解决证据的高度冲突问题,但是加权平均的合理性得不到有效的证明。文献[15]建立一种基于焦元相似度的证据理论合成规则,该规则可以比较合理地对冲突证据进行分配。

本文对军事通信网络效能评估中专家冲突意见融合问题进行了深入研究,提出一种新的方法,并通过算例和比较验证了该方法。

1 改进证据理论

1.1 经典证据合成规则

经典证据合成规则公式定义如下:

$$\begin{cases} m(A) = \frac{1}{1-k} \sum_{A_i \subseteq A} \prod_{i=1}^n m_i(A_i), A \neq \emptyset \\ m(\emptyset) = 0, \quad A = \emptyset \end{cases} \quad (1)$$

式中 $k = \sum_{A_i \subseteq \emptyset} \prod_{i=1}^n m_i(A_i)$ 。k 值的大小反映了证据之间的冲突程度,系数 $\frac{1}{1-k}$ 为归一化因子,用来避免在合

* 收稿日期:2010-01-19

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2009JM8001-1)

作者简介:王 恺(1982-),男,陕西西安人,博士生,主要从事军事通信网络仿真、效能评估研究;

E-mail:yak1816@hotmail.com

夏靖波(1963-),男,河北秦皇岛人,教授,博士生导师,主要从事军事信息网络管理与安全研究。

定义 1 设专家 j 对指标 t_i 的模糊评语到 V 中的每个等级的隶属度函数为:

$$u_j^{(t_i)}(A_k) = \frac{\sum_{i=1}^7 (u_{ji}^{(t_i)} \wedge u_i(A_k))}{\sum_{i=1}^7 (u_{ji}^{(t_i)} \vee u_i(A_k))} \quad (3)$$

式中: $k = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \dots, n$ 。将式(3)作归一化处理,得到:

$$u_j^{(t_i)}(A_k) = \frac{u_j^{(t_i)*}(A_k)}{\sum_{i=1}^4 u_j^{(t_i)*}(A_k)} \quad (4)$$

这时 $u_j^{(t_i)}(A_k)$ ($k = 1, 2, 3, 4$) 仍反映专家 j 评估意见属于优、良、中、差各等级的程度,记为 $P_j^{(t_i)} = (u_j^{(t_i)}(A_1), u_j^{(t_i)}(A_2), \dots, u_j^{(t_i)}(A_4))$ 。

2.3 评估意见的信任度表示

设对指标 t_i , 由专家的知识水平和权威性, 给出 n 个专家的权重为 $(\lambda_1^{(t_i)}, \lambda_2^{(t_i)}, \dots, \lambda_n^{(t_i)})$, $\sum_{k=1}^n \lambda_k^{(t_i)} = 1$ 。

定义 2 专家 j 对指标 t_i 评判的相对可靠度为:

$$a_i^{(t_j)} = \omega_j^{(t_i)} [1 - (\lambda_{\max}^{(t_i)} - \lambda_j^{(t_i)})], \quad j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, y \quad (5)$$

式中 $\omega_j^{(t_i)}$ 反映的是专家经验与偏好的系数^[4]。一般情况下: $0.9 \leq \omega_j^{(t_i)} \leq 1$; 显然 $0 \leq a_j^{(t_i)} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n$ 。

因此,对指标 t_i 专家 j 的评估意见的隶属度可表示为: $P_j^{(t_i)*} = a_j^{(t_i)} P_j^{(t_i)}$, 则 $\sum_{k=1}^4 a_j^{(t_i)} u_j^{(t_i)}(A_k) \leq 1$,

$1 - \sum_{k=1}^4 a_j^{(t_i)} u_j^{(t_i)}(A_k)$ 表示专家在评估中不知道的信息。

构造 mass 函数来表示上述具有不确定性信息的专家意见。将特征集 V 作为假设空间, 按照 mass 函数的定义, 专家 j 对指标 t_i 评估意见的 mass 函数为:

$$m_j^{(t_i)}(A) = \begin{cases} a_j^{(t_i)} u_j^{(t_i)}(A_1), & A = \{A_1\} \\ a_j^{(t_i)} u_j^{(t_i)}(A_2), & A = \{A_2\} \\ a_j^{(t_i)} u_j^{(t_i)}(A_3), & A = \{A_3\} \\ a_j^{(t_i)} u_j^{(t_i)}(A_4), & A = \{A_4\} \\ 1 - \sum_{k=1}^4 a_j^{(t_i)} u_j^{(t_i)}(A_k), & A = V \end{cases} \quad (6)$$

矢量形式记为:

$$m_j^{(t_i)}(A) = (m_j^{(t_i)}(A_1), m_j^{(t_i)}(A_2), m_j^{(t_i)}(A_3), m_j^{(t_i)}(A_4), m_j^{(t_i)}(V)), j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, y。$$

3 专家意见融合算法

通过对改进证据理论和多属性群决策层次评估方法的研究, 将军事通信网效能评估中专家意见融合算法的步骤归纳如下:

步骤 1 确定待评估的指标集和评估特征集;

步骤 2 确定专家评判意见, 给出对评估指标集中指标因素的评判意见, 对评判意见进行量化;

步骤 3 根据式(3-6)计算指标因素基本可信度分配值, 即 mass 函数值;

步骤 4 如果存在高度冲突的证据, 则根据式(3)对指标的 mass 函数值进行融合, 解决冲突证据的融合, 并得到各指标的融合可信度。如果不存在高度冲突的证据, 则可以直接利用式(1)对证据进行融合。

步骤 5 重复步骤 4, 依次计算得到各指标的融合可信度, 综合得到专家评估意见在评估特征集上的可信度分配 m^k ($k = 1, 2, \dots, 5$)。

4 算例

文章采用文献[18]中所建立指标体系中的可靠能力指标为例对该算法进行验证。采用该例子给出的可靠能力指标集,可靠能力 $C_1 = \{C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}\}$ 。评估特征集为: $V = \{(A_1), (A_2), (A_3), (A_4)\}$ 。

假设有5位专家对可靠能力指标集中的4种指标进行评估。对抗毁能力 C_{11} 的评估意见为: {一般, 高, 一般, 低, 高}。对生存能力 C_{12} 的评估意见为: {低, 高, 一般, 低, 高}。对可用能力 C_{13} 的评估意见为: {低, 高, 一般, 低, 一般}。对恢复能力 C_{14} 的评估意见为: {一般, 低, 一般, 低, 很低}。

取 $\omega_j^{(i)}$ 值为0.95, 由式(5)计算得出5位专家的评判的相对可靠度为: (0.855 0, 0.902 5, 0.807 5, 0.855 0, 0.950 0)。由式(6)分别计算出指标 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} 、 C_{14} 的 mass 函数值, 其中: $m_1^{C_{11}} = (0, 0.427 5, 0.427 5, 0, 0.145 0)$; $m_2^{C_{11}} = (0.451 3, 0.451 3, 0, 0, 0.097 4)$; $m_3^{C_{11}} = (0, 0.403 8, 0.403 8, 0, 0.192 4)$; $m_4^{C_{11}} = (0, 0, 0.427 5, 0.427 5, 0.145 0)$; $m_5^{C_{11}} = (0.475 0, 0.475 0, 0, 0, 0.050 0)$ 。

若采用经典的合成规则, 而不考虑证据间的冲突问题, 可计算得到: $m_{C_{11}} = (0, 0, 0, 0, 1)$ 。由于证据之间高度冲突, 所以经典的合成规则在合成过程中舍弃了所有的冲突证据, 而将基本可信度全部赋予了不知道的信息, 因此, 评估特征集中的4个评价等级的基本可信度都为0, 这样的结果显然违背了常理, 也不能客观的反映实际情况。由于各证据间存在高度冲突, 根据步骤4利用改进的证据理论融合规则即式(3)对指标 C_{11} 的基本可信度分配值进行融合。计算得到: $m_{C_{11}} = (0.254 3, 0.342 6, 0.180 3, 0.106 9, 0.115 9)$ 。

同理可分别计算得到:

$m_{C_{12}} = (0.252 2, 0.300 5, 0.200 3, 0.155 0, 0.092 0)$; $m_{C_{13}} = (0.125 2, 0.250 4, 0.300 6, 0.205 0, 0.118 8)$; $m_{C_{14}} = (0, 0.220 7, 0.358 3, 0.295 2, 0.126 8)$ 。

以上计算得到的 $m_{C_{11}}$ 、 $m_{C_{12}}$ 、 $m_{C_{13}}$ 、 $m_{C_{14}}$ 值即为专家对抗毁能力 C_{11} 、生存能力 C_{12} 、可用能力 C_{13} 、恢复能力 C_{14} 评估意见在评估特征集上的隶属度值, 并且以上指标的基本可信度分配值可与文献[18]中的指标的模糊评估矩阵进行对照, 互为参考。

5 结束语

本文提出一种新的军事通信网效能评估专家评估意见的融合方法。该方法首先利用多属性群决策方法对专家评估意见进行量化; 进而采用改进的证据理论合成规则对高度冲突的评估意见进行融合, 并较好的解决了经典合成规则在融合评估意见时存在的问题; 最后, 通过算例验证了方法的有效性。此方法还可以应用在其它类似的军事系统效能评估决策问题中。

参考文献:

- [1] 苏波, 王浣尘. 群决策研究的评述[J]. 决策与决策支持系统, 1995, 5(3): 115 - 123.
SU Bo, WANG Huanchen. The View Study of Group Decision - Making[J]. Decision - Making and Decision - Making Support System, 1995, 5(3): 115 - 123. (in Chinese)
- [2] 张斌. 多目标系统决策的模糊集对分析方法[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(12): 108 - 114.
ZHANG Bin. The Analysis Method for Fuzzy Sets of the Multi - objective Decision - making[J]. Systems Engineering and Electronics, 1997, 17(12): 108 - 114. (in Chinese)
- [3] Hakil Kim. Evidential Reasoning Approach to Multisource - Data Classification in Remote Sensing[J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 1995, 8: 1257 - 1265.
- [4] 杨萍, 刘卫东. 基于证据理论的群决策层次评价方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(2): 42 - 92.
YANG Ping, LIU Weidong. Study on Group Decision Making in the Hierarchical Evaluation Process Based on Evidential Reasoning[J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(2): 42 - 92. (in Chinese)
- [5] Yager R R. On the Dempster - shafer Framework and New Combination Rules [J]. Information Sciences: An International Journal, 1987, 41(2): 93 - 137.
- [6] Smets P. The Combination of Evidence in the Transferable Belief Mode [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(5): 447 - 458.

- [7] Lefevre E, Colot O, Vannoorenberghe P. Belief Functions Combination and Conflict Management[J]. Information Fusion, 2002, 3(2):149 – 162.
- [8] 孙全,叶秀清,顾伟康. 一种新的基于证据理论的合成公式[J]. 电子学报, 2000, 28(8): 117 – 119.
SUN Quan, YE Xiuqing, GU Weikang. A New Combination Rules of Evidence Theory [J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(8): 117 – 119. (in Chinese)
- [9] 何兵,郝爱民,赵沁平. 一种基于不确定信息的决策方法[J]. 计算机学报, 2004, 27(2): 281 – 285.
HE Bing, HAO Aimin, ZHAO Qinqing. A Decision – making Method Based on Uncertain Information[J]. Chinese Journal of Computers, 2004, 27(2): 281 – 285. (in Chinese)
- [10] Deng Yong, Shi Wenkang, Zhu Zhenfu, et al. Combining Belief Functions Based on Distance of Evidence[J]. Decision Support Systems, 2004, 38(3): 489 – 493.
- [11] 林志贵,徐立中,周金陵. 基于修改模型的冲突证据组合方法[J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(11): 1964 – 1970.
LIN Zhigui, XU Lizhong, ZHOU Jinling. The Combination Method of Conflict Evidence Based on Modified Model [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2006, 40(11): 1964 – 1970. (in Chinese)
- [12] 徐凌宇,张博锋,徐炜民,等. D – S 理论中证据损耗分析及改进方法[J]. 软件学报, 2004, 15(1): 69 – 75.
XU Lingyu, ZHANG Bofeng, XU Weimin, et al. Evidence Ullage Analysis in D – S Theory and Development[J]. Journal of Software, 2004, 15(1): 69 – 75. (in Chinese)
- [13] Liu Weiru. Analyzing the Degree of Conflict among Belief Functions[J]. Artificial Intelligence, 2006, 170(11): 909 – 924.
- [14] 刘睿渊,邢清华,冯卉. 改进证据理论模型下的防空武器系统生存能力评估[J]. 电光与控制, 2009, 16(10): 94 – 97.
LIU Ruiyuan, XING Qinghua, FENG Hui. Survivability Evaluation of Air Defense Weapon System Based on Improved Evidence Model[J]. Electronics Optics & Control, 2009, 16(10): 94 – 97. (in Chinese)
- [15] 杨善林,罗贺,胡小健. 基于焦元相似度的证据理论合成规则[J]. 模式识别与人工智能, 2009, 22(2): 170 – 175.
YANG Shanlin, LUO He, HU Xiaojian. A Combination Rule of Evidence Theory Based on Similarity of Focal Elements[J]. PR&AI, 2009, 22(2): 170 – 175. (in Chinese)
- [16] 王文杰,叶世伟. 人工智能原理与应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 2004.
WANG Wenjie, YE Shiwei. Theory and Application of Artificial Intelligence[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2004. (in Chinese)
- [17] Joussleme A L, Grenier D, Bosse E. A New Distance Between Two Bodies of Evidence[J]. Information Fusion, 2001, 2(2): 91 – 100.
- [18] WANG Kai, XIA Jingbo, FENG Xin. A Method of Operational Effectiveness Evaluation of Integrated Communication Network Based on Fuzzy Synthetical Evaluation [J]. Computer Science, 2009, 08 – A:98 – 100.

(编辑:徐楠楠)

A Method for Experts' Opinion Combination of Military Communication Networks Effectiveness Evaluation

WANG Kai, XIA Jing – bo, LUO Xin

(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: A new combination method is introduced for solving the combination problem of experts' conflict opinions of military communication network effectiveness evaluation in this paper. For the new method, firstly, the quantification of evaluation opinions of experts is made based on multi – attribute group decision – making level evaluation model, then the basic probability distribute functions of each index are calculated based on the experts' evaluation opinions. Secondly, the basic probability distribute functions are combined based on the improved D – S model. Finally, a case is analyzed. The results show that the problem such as rejecting by one condition is solved and the new method is more reliable compared to the classic combination rule of D – S model. The opinions of experts can be reflected objectively and impersonally when the new method is used in combining the experts' opinions in the evaluation of military communication networks effectiveness.

Key words: military communication network; effectiveness; evaluation opinion; combination method