

基于灰色关联分析的组网情报处理性能评价

岳韶华¹, 周国安¹, 张纳温¹, 耿道田²

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 空军工程大学 理学院, 陕西 西安 710051)

摘要:在防空导弹网络化作战系统中,组网情报信息处理是实现信息共享、协同作战的基础,对其性能进行评价有利于改进现有系统中不足之处或便于开发出高质量的系统。组网情报处理性能评价是一个十分复杂的问题,涉及因素多,且存在部分因素不完全和不确定的问题。通过对影响其性能各因素的全面分析,建立了综合评价的指标体系,提出了基于关键指标的多评价对象首轮比较方法,给出了基于多层次灰色关联分析的评价模型及算法,并运用熵权法确定各指标权重,该方法能够有效地降低人为因素的影响,最后进行了算例分析。该研究成果已在实践中得到了应用,验证了其正确性和有效性,并具有较强的实用性。

关键词:组网情报处理系统;性能评价;灰色关联分析;熵

中图分类号: TP272 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)01-0069-05

在防空导弹网络化作战系统中,组网情报信息处理是实现信息共享、协同作战^[1]的基础。在组网系统效能评估方面前人做了大量的研究,如文献[2]和[3]提出了模糊层次分析法对雷达组网效能进行评估,文献[4]利用模糊评判法对防空导弹网络化作战系统效能进行评估,文献[5]对防空 C³I 系统情报信息处理进行单因素和多因素综合测试与评估。上述文献主要采用模糊评判,其隶属度函数不易获取,且利用层次分析法确定指标权重具有较大的主观性;也没有文献专门对组网情报信息处理性能进行评价和对多个系统性能进行比较。对防空组网情报处理系统性能评价是一个信息不完全的复杂多因素综合评判问题,评价指标既有定性(灰色)指标,又有定量(白化)指标,各因素之间本质上是一种灰色关系,灰色多层次综合分析法适合于信息不完全或不充分问题,对数据要求不苛刻,运用面广^[6];采用熵值法确定指标权重具有客观性。因此,本文利用基于熵权的多层次灰色关联分析评判法,对组网情报处理系统性能进行全面的评价。

1 综合评价的指标体系

通过阅读大量文献和根据实际网络化系统开发经验,分析决定和影响组网情报处理系统总体性能的主要因素,特别是参考文献[7-10],筛选归纳整理,建立图1所示的综合评价指标体系。

将指标体系分为目标层、准则层和指标层3个层次。目标层为组网情报处理系统性能,准则层包括组网情报获取能力、组网情报处理能力、组网误差校正能力和组网情报输出能力,指标层包括接收路数、覆盖范围等15个指标。其中指标层中各指标原始值的获取如下:如果是进行组网情报处理系统方案选择,则可以从参加评审的方案中获取指标值;如果是对现有系统进行性能评比,则可以通过情报测试平台测试的数据作为指标值;对定性指标则给出评价依据,由专家进行打分量化,将定性指标分为4个等级,4个等级及其量化值分别是:很好(1.0),较好(0.8),一般(0.6),差(0.3)。

* 收稿日期:2008-03-04

基金项目:航空科学基金资助项目(2007ZG54021)

作者简介:岳韶华(1968-),女,湖北黄梅人,高级实验师,主要从事防空指挥自动化系统研究;

E-mail: yueshaohua918@yahoo.com.cn

周国安(1965-),男,湖北鄂州人,教授,主要从事雷达系统仿真研究。

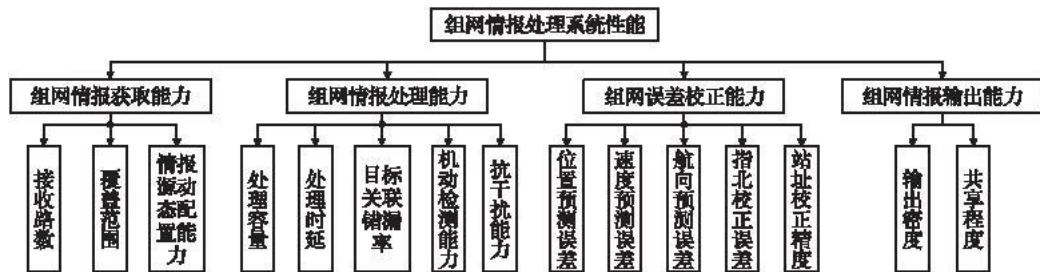


图1 组网情报处理系统性能评价指标体系

Fig. 1 An index system for the performance evaluation of netting intelligence process system

2 灰色多层次评价模型及算法

2.1 首轮评价

当参加评判的组网情报处理系统或参加评审的组网情报处理方案较多时,可以在指标层中设立必须满足的基本条件,进行首轮评价。例如确定情报处理容量、情报处理时延、目标关联错漏率3个指标为关键指标,并确定关键指标的阈值,当然,也可以根据具体目标不同,对关键指标及其阈值进行适当调整。只有基本条件均达到要求的参评系统,才能进入下一轮综合评价。

2.2 指标值的规范化处理

评价指标体系包括3层:目标层 G 、准则层 $U^{(i)}$ 和指标层 u_{ij} ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n_i$;本文中当 $i=1,2,3,4$ 时, $n_i=3,5,5,2$)。设被评情报处理系统总共有 q 个,序号为 s ($s=1,2,\dots,q$),则 $G^{(s)}$ 代表第 s 个被评对象的综合评价。设 $d_{js}^{(i)}$ 为第 s 个待评对象对应于准则层 $U^{(i)}$ 下的指标层 u_{ij} 中第 j 个指标的原始数据,原始数据以矩阵表示为 $D^{(i)}=[d_{js}^{(i)}]_{n_i \times q}$ 。为便于各指标间的比较,消除量纲的差异,必须对矩阵 $D^{(i)}$ 进行规范化处理,将其化为 $[0,1]$ 区间内,得到矩阵 $C^{(i)}=[c_{js}^{(i)}]_{n_i \times q}$ 。规范化处理采用效用函数法,具体如下:

对于效益型指标,性能指标值要求越大越好,则效用函数值为:

$$c_{js}^{(i)} = \frac{d_{js}^{(i)} - d_{\min j}^{(i)}}{d_{\max j}^{(i)} - d_{\min j}^{(i)}} \quad (1)$$

对于成本型指标,性能指标值要求越小越好,则效用函数值为:

$$c_{js}^{(i)} = \frac{d_{\max j}^{(i)} - d_{js}^{(i)}}{d_{\max j}^{(i)} - d_{\min j}^{(i)}} \quad (2)$$

对于增减型指标,性能指标值达到某个值时最佳,则效用函数值为:

$$c_{js}^{(i)} = \begin{cases} \frac{d_{js}^{(i)} - d_{\min j}^{(i)}}{d_{myj}^{(i)} - d_{\min j}^{(i)}} & (d_{\min j}^{(i)} \leq d_{js}^{(i)} \leq d_{myj}^{(i)}) \\ \frac{d_{\max j}^{(i)} - c_{js}^{(i)}}{d_{\max j}^{(i)} - d_{myj}^{(i)}} & (d_{myj}^{(i)} \leq d_{js}^{(i)} \leq d_{\max j}^{(i)}) \end{cases} \quad (3)$$

上式中 $d_{\min j}^{(i)}$ 、 $d_{\max j}^{(i)}$ 和 $d_{myj}^{(i)}$ 分别表示第 j 个指标允许的最小值、最大值和满意值。

2.3 确定指标层的最优指标集

指标的最优值可以直接选取各待评系统中同一指标的最大值^[11]。设 $c_j^{(i)}$ 为第 j 个指标的最优值,则 $C_{\max}^{(i)}=[c_1^{(i)}, c_2^{(i)}, \dots, c_{n_i}^{(i)}]$ 为评价系统的最优指标集。

2.4 构建评价矩阵

以 $C_{\max}^{(i)}=[c_1^{(i)}, c_2^{(i)}, \dots, c_{n_i}^{(i)}]$ 为参考数列, $C_s^{(i)}=[c_{1s}^{(i)}, c_{2s}^{(i)}, \dots, c_{n_i s}^{(i)}]$ 为比较数列,各元素计算公式为:

$$\xi_{js}^{(i)} = \frac{\min_k \min_s |c_k^{(i)} - c_{ks}^{(i)}| + \rho \max_s \max_k |c_k^{(i)} - c_{ks}^{(i)}|}{|c_j^{(i)} - c_{js}^{(i)}| + \rho \max_s \max_k |c_k^{(i)} - c_{ks}^{(i)}|} \quad (4)$$

式中: $i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n_i; s=1,2,\dots,q; k=1,2,\dots,n_i$;分辨系数 ρ 越小分辨能力越强,一般取 $\rho \in (0,1)$,更一般取 $\rho=0.5$ 。

利用式(4)分别求出第 s 个待评对象的第 j 个指标值与其最优指标值之间的关联系数 $\xi_{js}^{(i)}$,得到评价矩阵 $B^{(i)}=[\xi_{js}^{(i)}]_{n_i \times q}$ 。

2.5 确定指标层各指标权重

考虑到情报信息处理具有客观性,为了避免主观因素对权重分配的影响,同时也充分利用获取的原始数据所提供的有用信息量,采用客观的熵值法确定指标权重^[12]。具体步骤如下:

第 j 个指标的决策信息可用其熵值 $e_j^{(i)}$ 表示为:

$$e_j^{(i)} = -\lambda \sum_{s=1}^q x_{js}^{(i)} \ln x_{js}^{(i)} \quad (5)$$

式中: $\lambda = 1/\ln q$, 当待评对象数量确定后即为常量;并规定当 $x_{js}^{(i)} = 0$ 时, $\ln x_{js}^{(i)} = 0$ 。由式(6) 给出:

$$x_{js}^{(i)} = c_{js}^{(i)} / \sum_{s=1}^q c_{js}^{(i)} \quad (6)$$

第 j 个指标评价数据的偏差度为 $d_j^{(i)}$, $d_j^{(i)}$ 越大表示该指标越重要, $d_j^{(i)}$ 可表示为:

$$d_j^{(i)} = 1 - e_j^{(i)} \quad (7)$$

则第 j 个指标的权重因子可表示为:

$$w_j^{(i)} = d_j^{(i)} / \sum_{k=1}^{n_i} d_k^{(i)} \quad (8)$$

得权重向量 $\mathbf{W}^{(i)} = [w_1^{(i)}, w_2^{(i)}, \dots, w_{n_i}^{(i)}]$ 。

2.6 对准则层作综合评价

准则层 $U^{(i)}$ 每个指标的单层次综合评价结果为 $U^{(i)} = \mathbf{W}^{(i)} \mathbf{B}^{(i)}$, ($u = 1, 2, \dots, m$)。

2.7 对目标层作综合评价

将准则层单层次综合评价结果 $U^{(1)}, U^{(2)}, \dots, U^{(m)}$ 构成矩阵 $\mathbf{U} = [U^{(1)}, U^{(2)}, \dots, U^{(m)}]^T$, 进行规范化处理并找出对应的最优指标集, 再利用 2.4 描述的方法构建评价矩阵 \mathbf{B} ; 利用 2.5 的方法计算出准则层指标的权重系数 w_i , 得到准则层权重向量 $\mathbf{W} = [w_1, w_2, \dots, w_m]$, 则目标层综合评价结果为 $\mathbf{G} = \mathbf{WB} = [G^{(1)}, G^{(2)}, \dots, G^{(q)}]$ 。设 $M^{(s)} = \max\{G^{(1)}, G^{(2)}, \dots, G^{(q)}\}$, 则第 s 个系统为最佳系统。

3 算例分析

项目主观部门决定研制某型防空导弹网络化系统, 为了能开发出高质量的系统, 决定对已有同一级别的 3 套组网情报处理系统进行性能评价。将这 3 套系统分别通过情报测试平台, 对于定量指标或平台直接给出或通过简单计算得到指标数据, 对于定性指标则通过专家组打分给出。各项指标对应的原始数据和规范化数据见表 1。

表 1 评价指标的原始数据和规范化数据

Tab. 1 The primal data and standardization data of the evaluating indexes

评价指标	系统 1	系统 2	系统 3	系统 1	系统 2	系统 3	
	(原始)	(原始)	(原始)	(规范化)	(规范化)	(规范化)	
组网情报获取能力	接收路数(路)	12	11	10	1.00	0.50	0
	覆盖范围/km	600	600	500	1.00	1.00	0
	情报源动态配置能力	0.6	0.7	0.5	0.60	0.70	0.50
组网情报处理能力	处理容量	200	200	200	1.00	1.00	1.00
	处理时延/s	1	0.5	0.1	0	0.56	1.00
	目标关联错漏率(%)	10	6	12	0.33	1.00	0
	机动检测能力	0.7	0.8	0.8	0.70	0.80	0.80
	抗干扰能力	0.8	0.9	0.8	0.80	0.90	0.80
组网误差校正能力	位置预测误差/m	100	90	120	0.67	1.00	0
	速度预测误差(%)	12	10	8	0	0.50	1.00
	航向预测误差(%)	10	10	20	1.00	1.00	0
	指北校正误差/(°)	0.4	0.3	0.3	0	1.00	1.00
	站址校正精度	0.7	0.8	0.8	0.70	0.80	0.80
组网情报	输出密度(点/路)	26	28	30	0	0.50	1.00
输出能力	共享程度	0.6	0.8	0.7	0.60	0.80	0.70

由于只有 3 个项目参加评比, 所以直接都进入综合评价。

3.1 对准则层各项指标进行综合评价

各指标的最优指标直接选取待评系统中同一指标的最优值;取 $\rho=0.5$,按照式(4)计算各评价矩阵;利用式(5) - 式(8)计算各指标权重。以组网情报获取能力为例,其下指标的数据以矩阵表示为:

$$C^{(1)} = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.50 & 0 \\ 1.00 & 1.00 & 0 \\ 0.60 & 0.70 & 0.50 \end{bmatrix}$$

最优指标集 $C_{\max}^{(1)} = [1.00, 1.00, 0.70]^T$, 则得到评价矩阵:

$$B^{(1)} = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.50 & 0 \\ 0.33 & 1.00 & 1.00 \\ 0.83 & 1.00 & 0.71 \end{bmatrix}$$

计算得到各指标权重 $W^{(1)} = (0.529, 0.461, 0.010)$, 则组网情报获取能力的单层次综合评价结果为 $U^{(1)} = W^{(1)} B^{(1)} = (0.998, 0.736, 0.334)$ 。

同理得出组网情报处理能力、组网误差校正能力和组网情报输出能力的单层次综合评价结果分别为 $U^{(2)} = (0.387, 0.788, 0.635)$, $U^{(3)} = (0.557, 0.864, 0.673)$, $U^{(4)} = (0.335, 0.507, 0.998)$ 。

3.2 对目标层进行综合评价

将准则层单层次评价结果 $U^{(1)}$ 、 $U^{(2)}$ 、 $U^{(3)}$ 、 $U^{(4)}$ 构成矩阵

$$U = \begin{bmatrix} 0.998 & 0.736 & 0.334 \\ 0.387 & 0.788 & 0.635 \\ 0.557 & 0.864 & 0.673 \\ 0.335 & 0.507 & 0.998 \end{bmatrix}$$

规范化后得矩阵:

$$C = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.61 & 0 \\ 0 & 1.00 & 0.62 \\ 0 & 1.00 & 0.38 \\ 0 & 0.26 & 1.00 \end{bmatrix}$$

最优指标集 $C_{\max} = [1.00, 1.00, 1.00, 1.00]^T$, 计算得到评价矩阵:

$$B = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.56 & 0.33 \\ 0.33 & 1.00 & 0.57 \\ 0.33 & 1.00 & 0.45 \\ 0.33 & 0.40 & 1.00 \end{bmatrix}$$

各准则层指标权重 $W = (0.222, 0.222, 0.258, 0.298)$, 最终评价结果为 $G = WB = (0.479, 0.724, 0.614)$ 。

由上面所得结果可看出,系统2优于系统1和3,而系统3优于系统1,因此应选择系统2作为某网络化系统开发基础;虽然选择了系统2,但对准则层评价结果进一步分析可知:系统2情报获取能力不如系统1,情报输出能力不如系统3,因此系统2尤其需要改进情报源动态配置能力和提高情报输出密度。上述结论和分析与专家组定性分析得出的结论一致,表明算法是合理的。

4 结束语

本文应用多层次灰色关联分析综合评判法,对多个防空组网情报处理系统性能进行评价并排序。在评判过程中,首先建立评价的指标体系;当评价对象较多时,设立关键指标及其阈值,进行性能的首轮比较,只有基本条件均达到要求的系统,方能进入下一轮综合评价;在综合评价时,采用客观的熵值法确定指标权重,避免人为主观因素的影响;利用加权平均关联度代替平均值关联度,具有合理性。整个方法计算步骤较简便,计算量较小。实例分析表明,该方法的算法可行,应用方便灵活,评价过程直观,评价结果客观有效。

参考文献:

- [1] Alberts David S, Moffat James. Network Centric Warfare and Complexity Theory [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.

- [2] 朱丽莉,王朝晖. 组网雷达作战效能模糊综合评定模型[J]. 系统工程与电子技术,2003,25(12):1463-1520.
ZHU Lili,WANG Zhaochi. Fuzzy Combined Evaluation Model for the Fighting Efficiency of Radar Netting [J]. Systems Engineering and Electronics,2003,25(12):1463-1520. (in Chinese)
- [3] 高彬,吕善伟. 模糊AHP法在雷达组网效能评估中的应用[J]. 北京航空航天大学学报,2006,32(1):57-60.
GAO Bin,LÜ Shanwei. Fuzzy AHP and Its Application in Effectiveness Evaluation for Radar Netting [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2006,32(1):57-60. (in Chinese)
- [4] 张玉玺,刘铭. 防空导弹网络化作战系统效能评估[J]. 弹箭与制导学报,2006,26(3):309-310.
ZHANG Yuxi,LIU Ming. Effectiveness Evaluation of the Air Defense Missile Weapon System Based on Network Operation [J]. Journal of Projectiles,Rockets, Missiles and Guidance,2006,26(3):309-310. (in Chinese)
- [5] 胡方方. 防空C³I系统情报信息处理测试与评估研究[D]. 西安:空军工程大学,2007.
HU Fangfang. The Research on Test and Evaluation of Aerial Defence C³I Intelligence and Information Process [D]. Xi'an: Air Force Engineering University,2007. (in Chinese)
- [6] 陈珂,李华. 第三方物流服务商承接业务项目的多层次灰色评价[J]. 系统工程理论与实践,2006,26(1):97-101.
CHEN Ke,LI Hua. Multi-hierarchical Grey Evaluation on the Operation Items'Choice of the Third Party Logistics Service Agents[J]. System Engineering - Theory and Practice,2006,26(1):97-101. (in Chinese)
- [7] 贺正洪,吕辉,王睿,等. 防空指挥自动化信息处理[M]. 西安:西北工业大学出版社,2006.
HE Zhenghong,LÜ Hui,WANG Rui,et al. The Information Processing for Air-defense Command Automation [M]. Xi'an: Publishing House of Northwestern Polytechnical,2006. (in Chinese)
- [8] HE You,XIU Jianjuan,ZHANG Jingwei,et al. Radar Data Processing with Applications[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2006.
- [9] David K,Barton. Radar System Analysis and Modeling [M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2007.
- [10] Bar Shalom. Multitarget-multisensor Tracking:Advanced Applications [M]. Boston:Artech House,1992.
- [11] 邓聚龙. 灰色理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.
DENG Julong. Gray Theory Base[M]. Wuhan:Publishing House of Huazhong University of Science and Technology,2002. (in Chinese)
- [12] 李朝霞,牛文娟. 系统多层次灰色熵优选理论及其应用[J]. 系统工程理论与实践,2007,27(8):49-55.
LI Zhaoxia,NIU Wenjuan. Theory and Application of System Multi-level Gray Entropy Optimization[J]. System Engineering - Theory and Practice,2007,27(8):49-55. (in Chinese)

(编辑:田新华)

Evaluation for the Netting Intelligence Process Performance Based on Gray Relation Analysis

YUE Shao-hua¹, ZHOU Guo-an¹, ZHANG Na-wen¹, GENG Dao-tian²

(1. Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. Science Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: In the anti-aircraft missile weapon system based on network operation, the netting intelligence process is the basis for sharing information and cooperative operation, and the performance evaluation is beneficial to ameliorating shortage of the existing system and to developing a better new system. The performance evaluation is a complex problem which involves many factors including that some information about specification is incomplete and vague. By thoroughly analyzing the factors those have influence on the performance of anti-aircraft netting intelligence in processing, a comprehensive index system is built up. A first-run comparison method based on key indexes is put forward when many systems are evaluated. The evaluating model and algorithm based on multi-hierarchical gray relation analysis (GRA) are given, and the index weight is calculated by entropy weight method. Using this method can availablely reduce the influence of humankind. Finally, a practical example is given. The research result has been applied to the evaluation practice, which demonstrates the validity and practicability of the method.

Key words: netting intelligence process system; performance evaluation; GRA; entropy