

基于改进型灰色算法的网络化 指挥信息系统效能评估

秦洪涛¹, 熊金石¹, 李建华¹, 张 蕾²

(1. 空军工程大学信息与导航学院, 陕西西安, 710077; 2. 中国航天工程咨询中心, 北京, 100048)

摘要 网络化指挥信息系统已成为现代化战争必不可少的重要组成部分,其效能评估也越来越受到人们的重视。利用基于最优传递矩阵的改进层次分析法确定各指标权重值,结合灰色聚类方法和专家打分结果对各项指标值进行量化,定量计算出网络化指挥信息系统各项效能评估灰色聚类,从而实现了效能的量化评估。最后,通过实例计算和分析,实现对系统效能的综合评估,所得结论具有一定的参考价值。

关键词 网络化指挥信息系统;效能评估;灰色聚类

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.03.013

中图分类号 TP273 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)03-0060-05

随着网络化的指挥信息系统在信息化战场上的地位不断增强,其效能评估问题也越来越受到人们的重视。通过对系统进行科学合理地效能评估,可以确认系统性能的高低,发现系统存在的薄弱环节,进一步增强基于信息系统的体系作战能力。

目前效能评估通常采用的方法有层次分析法、模糊评估法、灰色评估法、基于统计学习理论的评估方法等。文献[1]针对评估过程中评估信息的不确定性和不完全性,提出了基于多层次灰色理论的综合评估方法;文献[2]针对评价因素的多相性,建立了一种模糊评估方法,提出了处理语言型评估指标的方法;文献[3]研究了BP神经网络与层次分析次相结合的通信效能评估问题;文献[4]结合作战实际需求,探讨了一种层次分析法与灰色聚类相结合的优化处理模型。通过这些文献不难看出:尽管这些方法融入了许多先进技术,提高了评估的科学性,但大多存在受人主观因素影响较大的问题。基于此,本文提出一种改进型的灰色层次分析法,通过建立最优传递矩阵和拟优一致阵确定效能指标的权重,采用灰色理论确定指标的评估灰类,最后完成了对系统效能的综合评估。

1 系统效能评估指标体系的建立

网络化指挥信息系统具有技术体制复杂、网络规模庞大、运行环境多变等特点,如何定量评估其作战效能是一个较为复杂的问题。指标体系的构建是评估过程中的关键一环,其实质是对影响系统效能发挥的性能要素实体逐步分层、细化,建立以作战运用为主线的效能评估指标体系,为评估工作的开展奠定基础。

从作战流程的角度考虑,网络化指挥信息系统参与作战的全部过程:首先是战场上采集到的信息进行融合处理,形成综合态势,并传达给指挥员;指挥员根据态势,利用系统进行决策分析,制定作战计划,并引导火力打击单元完成攻击任务。由此分析,系统应当具备信息处理能力、信息传输能力、指挥控制能力和抗毁生存能力。将系统能力各个属性划分、归纳,最终建立层次化的综合指标体系见表1。

* 收稿日期:2012-01-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61174162)

作者简介:秦洪涛(1979-),男,山东济南人,博士生,主要从事网络效能评估研究。E-mail:qinht2@sina.com

表1 综合指标体系

Tab.1 Comprehensive index system

总指标	第1层指标	第2层指标
网络化 指挥信息系统 静态效能	信息处理能力	信息处理时延;综合处理容量;信息获取密度;数据处理精度;系统转发错漏率。
	信息传输能力	信道带宽;网络容量;连通概率;通信质量;误信率;传输时延。
	指挥控制能力	决策响应时间;辅助决策智能度;任务分配合理度;人员素质;人机交互水平;设备铰链程度。
	抗毁生存能力	自身防护程度;可维修性;抗干扰性;防病毒性;重构性;可靠性;机动水平。

2 改进型的层次分析法确定指标权重

利用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 进行指标权重计算的一般步骤是, 首先构建指标间相对于上层某因素的比较矩阵, 求得比较矩阵的特征根与特征向量, 然后计算一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$, (λ_{\max} 为最大特征根, n 为矩阵阶数), 平均随机一致性指标 RI , 以及计算一致性比例 $CR = CI/RI$ 的值。当 $CR < 0.1$, 认为比较矩阵的一致性是可接受的, 若 $CR \geq 0.1$, 则需反复调整比较矩阵中的数值, 直到满足为止。这样反复调整具有一定的盲目性, 并且会有人为因素的影响。下面利用最优传递矩阵和拟优一致矩阵的概念, 对 AHP 进行改进, 使之自然满足一致性要求, 直接求出权重值。

2.1 构建比较矩阵

比较矩阵是指人们针对上一层某因素而言, 本层次与之有关的各因素之间相对重要性所作出的判断。表2为由 $A_1 - A_n$ 因素对上层因素 T 构造的比较矩阵。

其中, a_{ij} , ($i, j = 1, 2, \dots, n$) 是对于 T 而言, A_i 对 A_j 相对重要性的数值表示, 通常 a_{ij} 取 1, 3, 5, 7, 9 及其倒

表2 比较矩阵

Tab.2 Compare matrix

T	A_1	A_2	...	A_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
A_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}

数, 其中: $a_{ij} = 1$ 表示 A_i 与 A_j 同样重要; $a_{ij} = 3$ 表示 A_i 比 A_j 重要一点 (稍微重要), 而 $a_{ij} = \frac{1}{3}$ 表示 A_j 比 A_i 重要一点 (稍微重要); $a_{ij} = 5$ 表示 A_i 比 A_j 重要 (明显重要); $a_{ij} = 7$ 表示 A_i 比 A_j 重要得多 (强烈重要); $a_{ij} = 9$ 表示 A_i 比 A_j 极端重要 (绝对重要)。它们之间的数 2, 4, 6, 8 及其倒数具有相应的类似意义。

2.2 计算拟优一致矩阵

设实数矩阵 $A = [a_{ij}]$, $B = [b_{ij}]$, $C = [c_{ij}]$, $A, B, C \in R^{n \times n}$, 若 A 为构造的比较矩阵, 那么 A 显然满足 $a_{ij} = a_{ji}^{-1}$ (称为互反矩阵)。设:

$$B = \lg A \quad (b_{ij} = \lg a_{ij}, \forall i, j) \text{ 或 } A = 10^B \quad (a_{ij} = 10^{b_{ij}}, \forall i, j) \tag{1}$$

那么 B 显然满足 $b_{ij} = -b_{ji}$ (称为反对称矩阵)。

若反对称矩阵 B 同时又为传递阵, 即满足:

$$b_{ij} = b_{ik} + b_{kj} \tag{2}$$

则由式(1)、(2)可知, 矩阵 A 满足:

$$a_{ij} = a_{ik} a_{kj} \tag{3}$$

即矩阵 A 为一致阵。根据这种思路, 我们可以通过构造传递矩阵 C , 使其满足 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (c_{ij} - b_{ij})^2$ 最小 (C 称为 B 的最优传递矩阵), 使得矩阵 A^* :

$$A^* = [a_{ij}^*] = [10^{c_{ij}}] \tag{4}$$

自然满足一致性要求, A^* 为 A 的一个拟优一致矩阵。令:

$$J = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n (c_{ik} - b_{jk})^2 \tag{5}$$

为使 J 最小, 可令 $c_{ik} = x_i - x_k$ (C 的传递性), 令 $\frac{\partial J}{\partial x_i} = 0, \forall i$, 则由式(5) 可得:

$$c_{ij} = x_i - x_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (b_{ik} - b_{jk}) \quad (6)$$

由式(1)、(4)和(6), 可得比较矩阵 A 的最优传递矩阵 C 和拟优一致矩阵 A^* , 使得 A^* 自然满足一致性检验的要求。

2.3 计算指标权重系数

通过式(4)求得比较矩阵 A 的拟优一致矩阵 A^* , 然后求出矩阵 A^* 的最大特征根对应的特征向量, 即为指标权重系数向量, 这里用 W_i 表示。

3 基于灰度算法的效能评估求解

3.1 评估指标的样本矩阵的确定

设有 5 组评估者(专家), 受评者为网络化指挥信息系统; 第 k 个评估者对于第 i 个指标的评分为 d_{ki} , 根据 5 组评估者的评分表格, 得到样本矩阵 D 如下:

$$D = (d_{ki}) = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.8 & 0.7 & 0.7 & 0.5 & 0.8 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.8 & 0.5 & 0.8 & 0.7 \\ 0.7 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.4 & 0.4 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.9 & 0.5 \\ 0.6 & 0.6 & 0.4 & 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.5 & 0.6 & 0.8 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 0.4 \\ 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.5 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.8 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.8 & 0.5 & 0.5 & 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.9 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.7 \end{bmatrix}$$

其中, 矩阵 D 的列对应的是表 1 中的 24 个第 2 层指标, 行对应的是 5 组评估者。

3.2 评估灰类的确定

3.2.1 确定白化权函数

设定灰数 $\oplus \in [x(1), x(2), \dots, _]$, 称上限测度白化权函数; 灰数 $\oplus \in [x(1), x(2), \dots, x(4)]$, 称适中测度白化权函数; 灰数 $\oplus \in [_, _, x(3), x(4)]$, 称下限测度白化权函数, 分别为:

$$f_1(x) = \begin{cases} 0 & x < x(1) \\ \frac{x-x(1)}{x(2)-x(1)} & x \in [x(1), x(2)] \\ 1 & x > x(2) \end{cases}, f_2(x) = \begin{cases} 0 & x < x(1) \\ \frac{x-x(1)}{x(2)-x(1)} & x \in [x(1), x(2)] \\ \frac{x(4)-x}{x(4)-x(2)} & x \in [x(2), x(4)] \end{cases}, f_3(x) = \begin{cases} 0 & x \in [0, x(3)] \\ 1 & x \in [x(3), x(4)] \end{cases} \quad (7)$$

3.2.2 确定灰度类

根据实际评估的可能结果, 确定 4 个灰度类, $N = (1, 2, 3, 4)$ 依次为“优”, “良”, “中”, “差”, 灰数:

$$N=1, \oplus 1 \in [0, 0.9, _, _]; \quad N=2, \oplus 2 \in [0, 0.9, _, 0.9];$$

$$N=3, \oplus 3 \in [0, 0.5, _, 0.8]; \quad N=4, \oplus 4 \in [0, _, 0.4, 0.7];$$

对于评估指标 i , 计算评估值 d_k 分别属于 $N=1, 2, 3, 4$ 各灰类的评估系数:

$$f_N^i = \sum_{k=1}^5 f_N^i(d_k), (N = 1, 2, 3, 4) \quad (8)$$

对于评估指标 i , 计算总评估系数:

$$f^i = \sum_{N=1}^4 f_N^i \quad (9)$$

计算灰度权向量:

$$r^i = (f_1^i/f^i, f_2^i/f^i, f_3^i/f^i, f_4^i/f^i) \quad (10)$$

将灰度权向量 r^i , 按照表 1 第 1 层指标中能力的划分, 分别取 $i = 1-5, 6-11, 12-17, 18-24$, 组成关于第 2 层指标的灰色评估矩阵 $R_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 。

3.3 综合评估

对表1中的第2层指标分别构建相对于第1层能力指标的4个比较矩阵,分别求出指标权重向量 $W_i (i=1,2,3,4)$;由第2层指标的权重向量 $W_i (i=1,2,3,4)$ 和第2层指标的灰色评估矩阵 $R_i (i=1,2,3,4)$ 可对2层指标进行评估,所得结果为 $e_i = W_i \times R_i (i=1,2,3,4)$;再由第1层能力指标相对于顶层总指标构建一个比较矩阵,并求出权重向量 W_0 ,从而求出综合评估向量 $E = W_0 \times E_0, (E_0 = [e_1, e_2, e_3, e_4]^T)$ 。

4 结果分析

我们以表1中信息处理能力的5个2层指标为例,分别构建比较矩阵 A_1 ,计算最优传递矩阵 C ,拟优一致矩阵 A^* 为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.0352 & 0.1806 & 0.3362 & 0.5271 \\ -0.0352 & 0 & 0.1454 & 0.3010 & 0.4919 \\ -0.1806 & -0.1454 & 0 & 0.1556 & 0.3465 \\ -0.3362 & -0.3010 & -0.1556 & 0 & 0.1908 \\ -0.5271 & -0.4919 & -0.3465 & -0.1908 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.0000 & 1.0845 & 1.5157 & 2.1689 & 3.3659 \\ 0.9221 & 1.0000 & 1.3977 & 2.0000 & 3.1037 \\ 0.6598 & 0.7155 & 1.0000 & 1.4310 & 2.2206 \\ 0.4611 & 0.5000 & 0.6988 & 1.0000 & 1.5518 \\ 0.2971 & 0.3222 & 0.4503 & 0.6444 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

指标权重向量 $W_1 = (0.2994 \quad 0.2761 \quad 0.1975 \quad 0.1380 \quad 0.0890)$ 。

$$\text{评估矩阵 } R_1 = \begin{bmatrix} 0.4190 & 0.3367 & 0.1746 & 0.0698 \\ 0.3015 & 0.3876 & 0.2261 & 0.0848 \\ 0.4058 & 0.3913 & 0.1691 & 0.0338 \\ 0.2040 & 0.2623 & 0.2889 & 0.2448 \\ 0.3536 & 0.3343 & 0.2184 & 0.0936 \end{bmatrix}$$

信息处理能力的评估向量: $e_1 = (0.3484 \quad 0.3510 \quad 0.2074 \quad 0.0931)$ 。

同样可求得: $e_2 = (0.4346 \quad 0.3048 \quad 0.1828 \quad 0.0777)$; $e_3 = (0.3980 \quad 0.3649 \quad 0.1717 \quad 0.0655)$; $e_4 = (0.4251 \quad 0.2981 \quad 0.1761 \quad 0.1007)$; $W_0 = (0.2363 \quad 0.2539 \quad 0.3110 \quad 0.1987)$ 。

由此得到系统综合评估向量为: $E = (0.3011 \quad 0.3421 \quad 0.2328 \quad 0.1236)$ 。

从系统综合评估向量 E 可以看出4个灰度类中权重最大为0.3421。根据最大隶属原则,可知此网络化指挥信息系统效能整体水平处于良。进一步查看综合指标权重 $0.3011 > 0.2328$,即权重优的成分多于中的成分,说明系统的效能趋向优化。

5 结束语

层次分析法是综合定性与定量分析的系统分析方法。本文利用最优传递矩阵对层次分析法进行改进,完成各级指标权重的确定,然后综合专家打分的结果和灰色算法对各项指标值进行灰色聚类,从而计算出网络化指挥信息系统效能综合评估值。此方法在信息不完备、不确切的条件下,对于提高评估结论的准确性、科学性,为决策者提供理论依据等方面具有一定的参考价值。

参考文献(References):

- [1] 胡容,黄南京. 基于多层次灰色理论的综合评价模型及应用[J]. 四川大学学报:自然科学版,2005,42(5): 889-895.
HU Rong, HUANG Nanjing. A comprehensive evaluating model based on multi-hierarchy gray theory[J] Journal of Sichuan university:natural science edition, 2005,42(5):889-895. (in Chinese)
- [2] Martinez Luis, Liu Jun, Runa Da, et al. Dealing with heterogeneous information in engineering evaluation processes [J]. Information sciences, 2007, 77(7): 1533-1542.
- [3] 陈佳响,武斌,唐唐. AHP和BP神经网络在通信效能评估中的应用[J]. 现代电子技术, 2009, 32(7): 65-68.
CHEN Jiayun, WU Bin, TANG Tang. Effectiveness evaluation for communication based on AHP and BP neural network [J].

- Modern electronics technique, 2009,32(7): 65-68. (in Chinese)
- [4] 金鑫,徐军,曾杰. 系统效能评估模型探索[J]. 指挥信息系统与技术, 2011,2(1):36-39.
JIN Xin,XU Jun,ZENG Jie. Investigation into a model for system effectiveness evaluation[J]. Command information system & technology, 2011,2(1):36-39. (in Chinese)
- [5] 陈杰. 电子信息系统效能评估模型及方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2010,46(S):31-32.
CHEN Jie. Research of effectiveness evaluation model and method for electronic information system[J]. Computer engineering and applications,2010,46(S):31-32. (in Chinese)
- [6] 王龙涛,陶熹. 基于改进层次分析法的舰载信息系统作战效能评估[J]. 舰船电子对抗, 2009,32(1):48-51.
WANG Longtao,TAO Xi. Operational effectiveness of shipboard information system based on improved AHP[J]. Shipboard electronic countermeasure,2009,32(1):48-51. (in Chinese)
- [7] 门星火,李伟,耿杰恒,等. C₄ISR系统效能评价技术研究[J]. 舰船电子工程, 2011,31(2):8-12.
MEN Xinghuo,LI Wei,GENG Jieheng, et al. Research on effectiveness evaluation technology in C₄ISR system[J]. Ship electronic engineering,2011,31(2):8-12. (in Chinese)

(编辑:徐楠楠)

An Improved Grey Cluster Method on Networked Command Information System Effectiveness Evaluation

QIN Hong-tao¹, XIONG Jin-shi¹, LI Jian-hua¹, ZHANG Lei²

(1. School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2. China Aerospace Engineering Consultation Center, Beijing 100048, China)

Abstract: The networked command information system has become an important and necessary part of modern war. The evaluation of its effectiveness has become more and more concerned. To weight value of importance of each index, an improved analytical hierarchy process (AHP) based on the optimal transfer matrix is used. In the model, every index is quantitatively analyzed and the value of grey cluster of each subset effectiveness is calculated based on the grey cluster method and the result of experts. As a result, a quantitative evaluation of the effectiveness is achieved. Finally, as an example, the model is used to evaluate the effectiveness of a system, and the result shows that the model is of some practical value.

Key words: networked command information system; effectiveness evaluation; grey cluster