

# 基于模糊数排序的武器效能评估方法

花文健<sup>1</sup>, 刘宁<sup>2</sup>, 刘作良<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 空军司令部, 北京 100843)

**摘要:**提出了改进的武器系统效能模糊评估方法,避免了原有方法存在的问题。将武器系统效能评估视为模糊多准则决策问题,通过“目标—准则—系统”层次结构,利用5个模糊比率表示判断矩阵和准则权重向量,将问题转化为模糊数的排序问题,从而选出被评武器系统最优者。与其它武器系统效能评估方法比较,显示新方法是可信有效的。

**关键词:**模糊数;多准则决策;效能评估

**中图分类号:**U674.71 O159 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)05-0028-04

武器系统是一个复杂系统,其效能评估是一个模糊多准则决策问题。在应用模糊数学研究武器效能评估方法中,文献[3]给出了基于熵权和层次分析法的模糊效能评估算法,但熵权计算过程复杂。为克服此缺陷,文献[1,7]中分别给出新的武器系统效能模糊评估方法,所不同的是文献[7]所提方法利用三角模糊数表示准则的权重使算法得以简化,而文献[1]利用简化的模糊数运算实现效能评估。通过研究我们发现,文献[1]中的方法仍然存在问题。首先,多准则决策问题中准则通常是不同性质的,必须通过正规化或确定比率等方法对准则进行同性改造,而文献[1]方法没有考虑这个问题。如果被评估对象的排序分值级数较多,或某一个准则拥有很多因素,或在此准则下被评系统的分值差比较大,或某准则权重要比其它准则的权重大的多,那么直接运用文献[1]方法中的三角模糊数中间点值表示被评系统的排序分值就会出现错误(验证见本文第3节)。其次,被评系统的综合排序分值 $\bar{p}$ 如果用三角模糊数 $(p-1, p, p+1)$ 表示,那为什么不能是 $(p-2, p, p+2)$ 、 $(p-3, p, p+3)$ ……? 第三,文献[1]方法的第三步即对三角模糊数进行解模糊运算,并规定解模糊后最小值对应的系统为最优系统,但从几何的角度看,梯形模糊数的解模糊运算实际为求期望(或中间)值,显然,期望值越大,对应的系统应该越好。本文提出一个通用简便的系统效能模糊评估方法以克服文献[1]方法的缺陷。

## 1 三角模糊数的运算

$\bar{A}, \bar{B}$ 分别为论域 $U$ 上的三角模糊数,表示为 $(a_1, a_2, a_3)$ 和 $(b_1, b_2, b_3)$ ,则 $\oplus$ 和 $\otimes$ 分别为

$$(a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3); (a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3)$$

模糊数排序的方法主要有2种:

1) 利用截集的方法。给定 $\bar{A}, \bar{B}$ 及 $\alpha \in (0, 1]$ ,确定 $\bar{A}^\alpha = [a_1, a_2]$ ,  $\bar{B}^\alpha = [b_1, b_2]$ ,则有若 $a_2 \leq b_2 \Rightarrow \bar{A} \leq \bar{B}$ 。通常要求 $\alpha > 0.5$ ,还可利用多个 $\alpha$ 截集来比较模糊数<sup>[5]</sup>。

2) 利用均值和标准偏差<sup>[4]</sup>排序模糊数,均值越大意味着相应的模糊数“越大”。给定三角模糊数 $\bar{A}$ ,其均值和标准偏差为: $\bar{x}_v(\bar{A}) = \frac{1}{3}(a_1 + a_2 + a_3)$ ,  $\sigma_v(\bar{A}) = \frac{1}{18}(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 - a_1 a_2 - a_1 a_3 - a_2 a_3)$ , 或为 $\bar{x}_p(\bar{A}) =$

收稿日期:2003-11-18

基金项目:“十五”国防预研基金资助项目(40108070103)

作者简介:花文健(1976-),男,北京市人,博士生,主要从事C<sup>3</sup>I系统效能分析与评估研究;

刘作良(1938-),男,四川成都人,教授,博士生导师。主要从事C<sup>3</sup>I系统理论与技术研究。

$$\frac{1}{4}(a_1 + 2a_2 + a_3), \sigma_p(\tilde{A}) = \frac{1}{80}(3a_1^2 + 4a_2^2 + 3a_3^2 - 2a_1a_2 - 4a_1a_3 - 4a_2a_3)。$$

梯形模糊数去模糊的方法<sup>[2]</sup>实际是求其中间值的过程。设梯形模糊数表示为 $(a, b, c, d)$ , 其去模糊后的值为 $e$ , 则 $e = (a + b + c + d)/4$ 。

## 2 效能评估方法

假定有 $n$ 个准则 $(C_1, C_2, \dots, C_n)$ 、 $m$ 个被评系统 $(S_1, S_2, \dots, S_m)$ 、准则的权重 $W$ (由决策者提供)用三角模糊数表示为 $W = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n]$ 。为了实现不同性质准则度量转化为同性质度量, 我们采用5个模糊比率(见表1)来正规化准则。决策者根据被评系统的性能参数对系统进行比较, 得到模糊判断矩阵。通过对准则之间的比较可得到决策者的模糊权重向量。

以3种战术导弹系统的效能评估<sup>[3]</sup>为例说明方法的计算过程, 评估过程如下:

第一步: 构造目标—准则—系统的分层结构(见图1)。

第二步: 通过比较同一准则下的系统效能值确定矩阵各元, 从而建立模糊判断矩阵。表2和表3分别为战术导弹武器系统的战术性能参数和专家对其性能的评价。根据表2和表3分别构造出每一个准则下子准则的评价<sup>[3]</sup>, 如表4至表8所示。表9为文献[1]提供的根据专家意见增加了战术子准则后的评价, 表10为本文提供的根据专家意见增加了战术子准则后的评价。

第三步: 求出每个系统的综合排序模糊值。设 $A$ 为模糊判断矩阵,  $W$ 为模糊权重向量, 则被评估系统的综合排序模糊值向量为 $R$ (其中 $\tilde{w}_j$ 和 $\tilde{a}_{ij}$ 取值为表1里的模糊数)。

表1 模糊比率

模糊比率	模糊数的表示	模糊数的意义
$\bar{1}$	(1, 1, 3)	基本相同
$\bar{3}$	(1, 3, 5)	一般强于
$\bar{5}$	(3, 5, 7)	很强于
$\bar{7}$	(5, 7, 9)	非常强于
$\bar{9}$	(7, 9, 9)	极强于

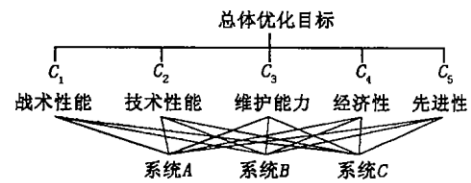


图1 战术导弹武器系统效能评估目标-准则-对象结构图

表2 战术导弹武器系统战术性能

评估因素	系统A	系统B	系统C
有效射程/km	43	36	38
飞行高度/m	25	20	23
飞行速度/Ma	0.72	0.80	0.75
射击速率/(发·min <sup>-1</sup> )	0.6	0.6	0.7
反应时间/min	1.2	1.5	1.3
导弹尺寸/cm (长×直径×翼展)	521×35×135	381×34×105	445×35×120
射击精度(%)	67	70	63
毁伤率(%)	84	88	86
杀伤半径/m	15	12	18
反干扰能力(%)	68	75	70
可靠性(%)	80	83	76
系统费用/万元	800	755	785
系统寿命/年	7	5	5

表3 战术导弹武器系统性能专家评价

评估因素	系统A	系统B	系统C
作战条件要求	很高	一般	一般
安全性	高	一般	一般
遮蔽性	一般	高	一般
简单性	一般	一般	一般
集成度	一般	一般	一般
战斗能力	高	一般	一般
原料限制	很高	一般	很高
机动能力	一般	高	一般
模块化	一般	高	一般
系统标准化	一般	一般	高

表4 战术子准则评价

战术	A	B	C
有效射程	1.0	0.5	0.5
飞行高度	0.5	1.0	0.5
飞行速度	0.5	1.0	0.5
可靠性	1.0	1.0	0.5
射击精度	1.0	1.0	0.5
毁伤率	0.5	1.0	1.0
杀伤半径	1.0	0.5	1.0
总分	5.5	6.0	4.5

表5 技术子准则评价

技术	A	B	C
导弹尺寸	0.5	1.0	0.5
反应时间	0.5	0.5	0.5
射击速率	0.5	1.0	1.0
反干扰能力	0.5	1.0	1.0
作战能力	1.0	0.5	0.5
总分	3.0	4.0	3.5

表6 维护子准则评价

维护	A	B	C
作战条件要求	1.0	0.5	0.5
安全性	10.5	0.5	
遮蔽性	0.5	10.5	
简单性	0.5	0.5	0.5
集成度	0.5	0.5	0
总分	3.5	32	

表7 经济子准则评价

经济	A	B	C
系统费用/万元	0.5	1.0	0.5
系统寿命/年	0.1	0.5	0.5
原料限制	0.5	1.0	0.5
总分	2.0	2.5	1.5

表8 先进性子准则评价

先进性	A	B	C
模块化	0.5	1.0	0.5
机动性	0	1.0	0.5
系统标准化	0.5	0.5	1.0
总分	1.0	2.5	2.0

表9 文献[1]增加的战术子准则评价

战术	A	B	C
有效射程	1	2	1
飞行高度	2	1	2
飞行速度	2	1	2
可靠性	1	1	2
射击精度	1	1	2
毁伤率	2	1	1
杀伤半径	1	2	1
⋮	⋮	⋮	⋮
总分	45	30	25

表10 本文增加的战术子准则评价

战术	A	B	C
有效射程	1.0	0.5	0.5
飞行高度	0.5	1.0	0.5
飞行速度	0.5	1.0	0.5
可靠性	1.0	1.0	0.5
射击精度	1.0	1.0	0.5
毁伤率	0.5	1.0	1.0
杀伤半径	1	0.5	1
⋮	⋮	⋮	⋮
总分	8	14	16

$$R = A \otimes W^T = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ \tilde{a}_{m1} & \cdots & \tilde{a}_{mn} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \\ \vdots \\ \tilde{w}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} \otimes \tilde{w}_1 \oplus \cdots \oplus \tilde{a}_{1n} \otimes \tilde{w}_n \\ \vdots \\ \tilde{a}_{m1} \otimes \tilde{w}_1 \oplus \cdots \oplus \tilde{a}_{mn} \otimes \tilde{w}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{r}_1 \\ \vdots \\ \tilde{r}_n \end{bmatrix}$$

本例中,假定专家给定模糊权重向量<sup>[3]</sup>为:  $W = [\tilde{9} \quad \tilde{3} \quad \tilde{1} \quad \tilde{5} \quad \tilde{7}]$ ,在每个准则下分别根据战术导弹系统的性能评价确定它们在相应准则下的模糊比率,即可得到模糊判断矩阵A。

$$A = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 \\ S_A & \tilde{1} & \tilde{1} & \tilde{7} & \tilde{3} & \tilde{1} \\ S_B & \tilde{7} & \tilde{5} & \tilde{5} & \tilde{5} & \tilde{7} \\ S_C & \tilde{9} & \tilde{3} & \tilde{1} & \tilde{1} & \tilde{5} \end{bmatrix}, \text{易得 } \tilde{r}_A = (21, 41, 131), \tilde{r}_B = (77, 157, 267), \tilde{r}_C = (69, 131, 199)。$$

第四步:根据模糊数排序方法确定最优系统。利用第二种模糊数排序法,计算结果如表11所示。显然有  $\tilde{r}_B > \tilde{r}_C > \tilde{r}_A$ ,所以系统B是最佳者。

表11 均值和标准偏差

	$\bar{X}_U(\tilde{A})$	$\sigma_U(\tilde{A})$	$\bar{X}_p(\tilde{A})$	$\sigma_p(\tilde{A})$
$\tilde{r}_A$	64.33	572.22	58.5	316.5
$\tilde{r}_B$	167	1516.67	164.5	702.0
$\tilde{r}_C$	133	704.67	132.5	305.65

### 3 结语

用相对等级评估法再来计算上例,即分别求出每个准则下被评系统效能分值的等级。设  $x_{ij}$  为效能分

值、 $r_{ij}$ 为每一个分值的相对等级,根据表10和表5至表8,则相对等级矩阵  $A = \{r_{ij}\} = \{[x_{ij} - \text{mix}\{x_{ij}\}] / [\max\{x_{ij}\} - \text{mix}\{x_{ij}\}]\}$   $= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0.5 & 0 \\ 0.75 & 1 & 0.66 & 1 & 1 \\ 1 & 0.5 & 0 & 1 & 0.66 \end{bmatrix}$ 。将  $W = [\bar{9} \quad \bar{3} \quad \bar{1} \quad \bar{5} \quad \bar{7}]$  去模糊得到  $W = [0.36 \quad 0.12 \quad 0.04 \quad 0.2 \quad 0.28]$ ,所以  $R = AW^T = [0.14 \quad 0.8964 \quad 0.6048]^T$ ,故系统B最优。可见,本文评估法的结果与此一致。

用文献[1]中的方法来计算上例。根据表9与表5至表8,文献[1]所得模糊矩阵  $A = \begin{bmatrix} 4\bar{5} & \bar{9} & \bar{8} & \bar{5} & \bar{7} \\ 3\bar{0} & \bar{7} & \bar{9} & \bar{4} & \bar{4} \\ 2\bar{5} & \bar{8} & \bar{1}\bar{1} & \bar{6} & \bar{5} \end{bmatrix}$ 、权值向量  $W = [\bar{9} \quad \bar{3} \quad \bar{1} \quad \bar{5} \quad \bar{7}]$ ,则3种系统的分值分别为: $R(S_A) = (420, 514, 572)$ 、 $R(S_B) = (274, 348, 401)$ 和 $R(S_C) = (250, 325, 384)$ ,去模糊后分别为:505、342.75和321,得出结果系统A最优。可见,结果与相对等级评估法及本文方法的结果不一致。

可以看出,文献[1]的方法在一些情况下产生错误结论。我们提出的改进效能模糊评估法利用5级模糊比率实现了不同性质准则的正规化,使排序值的表示更加客观。当某准则的子准则数量较多时,评估方法不会为此产生错误结果,结果是有效可信的。

#### 参考文献:

- [1] Chen S M. Evaluating Weapon Systems Using Fuzzy Arithmetic Operations[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 77(3): 265 - 276.
- [2] Kaufmann A, Gupta M M. Introduction to Fuzzy Arithmetic Theory and Application[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [3] Mon D L, Cheng C H, Lin J C. Evaluating Weapon System Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process Based on Entropy Weight [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 62: 127 - 134.
- [4] Lee E S, Li R L. Comparison of Fuzzy Numbers Based on The Probability Measure of Fuzzy Events[J]. Comput. Math. Appl., 1988, 15: 887 - 896.
- [5] Mabuchi S. An Approach to The Comparison of Fuzzy Subsets With An Or - Cut Dependent index[J]. IEEE Trans. Systems Man Cybernet., 1988, 18(2): 264 - 272.
- [7] 康崇祿. 国防系统分析方法(下册)[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [8] 杨建宏, 韩林. 模糊变权法在通信指挥效能评估上的应用[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2003, 4(2): 41 - 45.

(编辑: 门向生)

## A Method of Performance Evaluation of Weapon Systems Based on Ranking Fuzzy Number

HUA Wen - jian<sup>1</sup>, LIU Ning<sup>2</sup>, LIU Zuo - liang<sup>1</sup>

(1. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China; 2. The Commanding Department of Air Force, Beijing, 100843, China)

**Abstract:** An improved method of Performance Evaluation of Weapon Systems (PEWS) is presented based on fuzzy arithmetic operations with revising the defects of the original method. PEWS is regarded as a fuzzy MCDM problem. Five fuzzy ratio scales are defined to represent the elements of fuzzy judgment matrix and weight vector according to the data in the "Goal - Criteria - System" structure, and then PEWS is transferred into fuzzy ranking scores. The comparison of the three results obtained respectively by this new method, the original method and the relative grade method shows that the new method is credible and effective.

**Key words:** fuzzy number; MCDM; performance evaluation