# 基于 WGA 的导弹武器系统效能多目标评估

周 巍 夏国平 颜 宁

(北京航空航天大学 经济管理学院，北京 100191) (第二炮兵装备研究院三所，北京 100085)

**摘 要**：建立了导弹武器系统效能评估指标体系及评估模型，针对导弹武器系统效能的复杂性、综合性和不确定性，将层次分析法(AHP，Analytical Hierarchy Process)与加权向量法相结合，提出了一种基于加权几何平均算子的导弹武器系统效能多目标综合评估方法. 将评价系统指标分为单项效能、系统效能和综合效能，利用层次分析法 AHP 确定各指标的权重系数，获取评价信息. 通过运用加权几何平均(WGA，Weighted Geometric Average)算子和组合加权几何平均(CWGA)算子对属性值进行加权集结，得到群体综合属性值，从而确定最优方案，实现武器系统效能优劣的综合评估. 用实例进行了验证，结果表明，是导弹武器系统效能评估的有效方法.

**关 键 词**：多目标决策；加权几何平均算子；层次分析法；效能评估；导弹

**中图分类号**：TJ 760

**文献标识码**：A **文 章 编 号**：1001-5965(2008)10-1232-04

# Multi attribute evaluation method for missile weapon system effectiveness based on WGA operator

Zhou Wei Xia Guoping

(School of Economics and Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Yan Ning

(The Third Institute, The Second Artillery Equipment Academy, Beijing 100085, China)

**Abstract**: The index system and model of missile weapon system effectiveness evaluation were constructed. In view of complexity, synthesis and uncertainty of missile weapon system effectiveness, analytical hierarchy process (AHP) and weighted vector methods were combined, a multi-purpose synthetic evaluation method of missile weapon system effectiveness based on weighted geometric average (WGA) operator and combination weight geometric average (CWGA) was proposed. The evaluation indexes were divided into single effectiveness, system effectiveness and synthetic effectiveness. To obtain evaluation information weighted coefficient of each index was calculated by using AHP. Attribute values were grouped by WGA and CWGA operators, in order to obtain synthetic attribute values of system and determine optimal plane, and then to solve synthetic evaluate problem of missile weapon system effectiveness. A computing example indicates this method is an effective method for effectiveness evaluation for missile weapon system.

**Key words**: multi attribute decision-making; weighted geometric average(WGA); analytical hierarchy process (AHP); effectiveness evaluation; missile

效能作为武器系统在规定的条件下和规定的时间内达到规定的使用目标、完成规定任务的能力，是装备能力的多元度量，并且随着研究角度的不同而具有不同的具体内涵和属性. 由于导弹武器系统本身的复杂性和反映其综合能力的战术技术指标的多样性，使得其效能指标呈现出模糊性、

**收稿日期**：2007-10-30

**作者简介**：周 巍(1963—)，男，江西永新人，博士生，zhwei-01@163.com.

关联性、综合性以及不确定性等特征,这给导弹武器系统的效能评估带来极大的困难. 尽管目前已有多种效能评估方法,但对导弹这样宏观与微观决策相混杂的复杂系统来说,传统的方法有着明显的局限性.多目标综合评价法是求解不确定性问题的一种有效决策方法,在经济管理、风险评估、性能评定、企业发展以及军事系统中有着广泛的应用[1-2]. 它是利用构造属性集的指数加权向量来刻画属性空间分布,在获取属性值的基础上,确定属性权重,通过一定的方式对决策信息进行组合集结,并对有限个备选方案进行排序和择优[3-4].

本文依据导弹武器系统的实际结构组成及作战能力要求,在不确定性多目标决策理论的基础上,将层次分析法(AHP, Analytieal Hierarchy Process)与加权向量法相结合,并应用于导弹武器系统效能的评估中,建立了导弹武器系统效能评估指标体系及评估模型,先利用层次分析法计算指标权重,再运用加权几何平均(WGA, Weighted Geometric Average)算子对属性值进行加权集结,并利用组合加权几何平均(CWGA, Combination Weight Geometric Average)算子计算综合属性值,从而实现对导弹武器系统优劣程度的评价.

## 1　导弹武器系统效能评估指标体系

根据导弹武器系统的实际组成及其作战使用要求[5-6],建立导弹武器系统效能评估指标体系如图 1 所示.

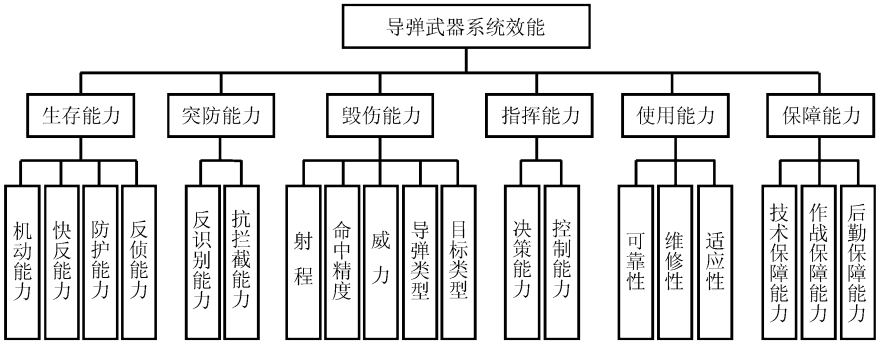


图 1　导弹武器系统效能评估指标体系

## 2　基于 WGA 的多目标建模

对于具有不确定性的多目标评估问题包括两个方面:一是需要事先获取评价的基本信息,即评价集的属性权重和属性值;二是通过一定的方式对评价信息进行集结并进行评估.由于导弹武器系统效能的复杂性及其不确定性,很难用一种方法进行综合评估,因此,本文先用 AHP 法获取各指标的评价信息,再用 WGA 算子进行组合集结,从而确定综合属性并作出评价.

### 2.1　层次分析法获取评价信息

层次分析法(AHP)是获取评价信息的有效手段,其关键是计算目标的属性权重和属性值,简要求解步骤如下[7]:

1) 将问题概念化,找出主要因素,建立评价目标体系;

2) 分析各因素间的关联、隶属关系,建立目标识别的递阶层次结构;

3) 在某一准则下通过对同一层任何两个元素相对重要程度进行两两比较,构造判断矩阵;

4) 通过对判断矩阵的计算,得出该准则下属性的相对权重;

5) 进行一致性判断,判断权重的合理性.

### 2.2　基于 WGA 算子的评估法

**定义 1**　设影射 $\boldsymbol{G}:R^{+^n}\to R^+$,若

$$\boldsymbol{G}_\omega(\alpha_1,\alpha_2,\cdots,\alpha_n)=\prod_{j=1}^{n}\alpha_j^{\omega_j} \tag{1}$$

其中 $\boldsymbol{\Omega}=(\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_n)$ 是数组 $(\alpha_1,\alpha_2,\cdots,\alpha_n)$ 的指数加权向量,$\omega_j\in[0,1]$,$j\in N$, $\sum_{j=1}^{n}\omega_j=1$,则称影射 $\boldsymbol{G}$ 是加权几何平均算子.

**定义 2**　设影射 $\boldsymbol{P}:R^{+^n}\to R^+$,若

$$\boldsymbol{P}_{\omega,w}(\alpha_1,\alpha_2,\cdots,\alpha_n)=\prod_{j=1}^{n}b_j^{w_j} \tag{2}$$

其中 $\boldsymbol{W}=(w_1,w_2,\cdots,w_n)$ 是与 $\boldsymbol{P}$ 相关联的指数加权向量,$w_j\in[0,1]$,$j\in N$, $\sum_{j=1}^{n}w_j=1$,且 $\boldsymbol{b}_j$ 是一组指数加权数据 $(\alpha_1^{nw_1},\alpha_2^{nw_2},\cdots,\alpha_n^{nw_n})$ 的指数加权向量,$\omega_i\in[0,1]$,$i\in N$, $\sum_{i=1}^{n}\omega_i=1$,$n$ 是平衡因子,则称影射 $\boldsymbol{P}$ 为组合加权几何平均算子.

基于 WGA 的综合评价法是在假设已知属性

权重和属性值的条件下，利用加权几何平均向量得出群体的综合属性值，具体步骤如下：

1）对于某一多目标评估问题，假设专家的权重向量为 $\boldsymbol{\Lambda}=(\lambda_1,\lambda_2,\cdots,\lambda_n)$，且专家 $d_k\in D$ 以模糊互补判断矩阵 $\boldsymbol{B}_k$ 的形式给出属性权重信息，并给出方案 $x_i$ 在属性 $u_j$ 下的属性值 $a_{ij}^{(k)}$，从而构成评估矩阵 $\boldsymbol{A}_k=(a_{ij}^{(k)})_{n\times m}$，其中 $a_{ij}^{(k)}>0$，$i\in N$，$j\in M$，$k=1,2,\cdots,t$. 若矩阵 $\boldsymbol{A}_k$ 中元素的物理量纲不同，则需要对其进行规范化处理，假设所得到的规范化矩阵为 $\boldsymbol{R}_k=(r_{ij}^{(k)})_{n\times m}$，其中 $r_{ij}^{(k)}>0$，$i\in N$，$j\in M$，$k=1,2,\cdots,t$.

2）利用相应的判断矩阵求出每个专家所给的加权向量，即从各个属性权重信息中获得相应的属性权重向量 $\boldsymbol{\Omega}^{(k)}=(\omega_1^{(k)},\omega_2^{(k)},\cdots,\omega_m^{(k)})$.

3）利用 WGA 算子对决策矩阵 $\boldsymbol{R}_k$ 中第 $i$ 行的属性值进行加权集结，得到专家 $d_k$ 给出的方案 $x_i$ 的综合属性值 $z_i^{(k)}(\boldsymbol{\Omega}^{(k)})$，$i\in N$，$k=1,2,\cdots,t$：

$$z_i^{(k)}(\boldsymbol{\Omega}^{(k)})=\boldsymbol{G}_{\omega}^{(k)}(r_{i1}^{(k)},r_{i2}^{(k)},\cdots,r_{im}^{(k)})=\prod_{j=1}^{m}(r_{ij}^{(k)})^{\omega_j^{(k)}}\qquad k=1,2,\cdots,t\quad j\in N \tag{3}$$

4）利用 CWGA 算子对 $t$ 位专家给出的方案 $x_i$ 的综合属性值 $z_i^{(k)}(\boldsymbol{\Omega}^{(k)})$ 进行集结，得到方案 $x_i$ 的群体综合属性值 $z_i(\lambda,w)$：

$$z_i(\boldsymbol{\Lambda},\boldsymbol{W})=\boldsymbol{P}_{\lambda,w}[z_i^{(1)}(\omega^{(1)}),z_i^{(2)}(\omega^{(2)}),\cdots,z_i^{(t)}(\omega^{(t)})]=\prod_{k=1}^{t}(b_i^{(k)})^{w_k}\quad i\in N \tag{4}$$

其中 $\boldsymbol{W}=(w_1,w_2,\cdots,w_t)$ 是 CWGA 算子的指数加权向量，$w_k\in[0,1]$，$k=1,2,\cdots,t$，$\sum_{k=1}^{t}w_k=1$，$b_i^{(k)}$ 是加权数据 $([z_i^{(1)}(\omega^{(1)})]^{\dot{\lambda}_1},[z_i^{(2)}(\omega^{(2)})]^{\dot{\lambda}_2},\cdots,[z_i^{(t)}(\omega^{(t)})]^{\dot{\lambda}_t})$ 中第 $k$ 大的元素，$t$ 是平衡因子.

5）利用 $z_i(\boldsymbol{\Lambda},\boldsymbol{W})(i\in N)$ 进行分析综合，从而得出效能的优劣、排序和择优.

## 3 导弹武器系统的多目标效能评估

设 $E$ 为导弹武器系统的效能，$U$ 为一级指标 $U_i$ 组成的集合，记作 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_n\}$，其中 $U_i$（$i=1,2,\cdots,6$）分别为生存、突防、毁伤、指挥、使用、保障能力指标（参见图 1），$C$ 为效能评估评价集，记作 $C=\{c_1,c_2,\cdots,c_k\}$，其中 $c_m$（$m=1,2,\cdots,M$）为评价质量等级.

### 3.1 获取评价信息

设 $M=4$，即各指标评估质量等级均为 $C=\{C_1,C_2,C_3,C_4\}=\{$优，良，中，差$\}$. 对定性指标，具有多种评分方法和标准，根据导弹武器装备的使用实际，本文采用表 1 中评估指标评分等级标准实现指标的量化.

设通过 3 位专家进行评估，即 $d_k$（$k=1,2,3$），$t=3$，权重向量为 $\boldsymbol{\Lambda}=(0.34,0.33,0.33)$，对某导弹武器系统的指标按照表 1 中指标等级标准打分，得到的评分如表 2 所示.

**表 1 指标等级划分**

| 等级 | 优 | 良 | 中 | 差 |
|---|---|---|---|---|
| 指标分值 | $8\leqslant u<10$ | $6\leqslant u<8$ | $4\leqslant u<6$ | $0\leqslant u<4$ |

**表 2 专家评分**

| 指标 | $u_1$ | $u_2$ | $u_3$ | $u_4$ | $u_5$ | $u_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $d_1$ | 8.2 | 8.0 | 7.6 | 7.4 | 8.0 | 7.9 |
| $d_2$ | 8.0 | 8.1 | 7.5 | 7.5 | 7.9 | 7.8 |
| $d_3$ | 8.1 | 8.0 | 7.6 | 7.4 | 7.8 | 8.0 |

### 3.2 构造判断矩阵

设专家组有 $t$ 位专家，每位专家根据表 3 的 1～9 标度法对上述 6 种能力指标进行两两比较.

**表 3 判断矩阵标度及其含义**

| 标度 | 含义 |
|---|---|
| 1 | 指标 $u_i$ 和指标 $u_j$ 同等重要 |
| 3 | 指标 $u_i$ 比指标 $u_j$ 稍微重要，反之为 1/3 |
| 5 | 指标 $u_i$ 比指标 $u_j$ 明显重要，反之为 1/5 |
| 7 | 指标 $u_i$ 比指标 $u_j$ 强烈重要，反之为 1/7 |
| 9 | 指标 $u_i$ 比指标 $u_j$ 极端重要，反之为 1/9 |
| 2,4,6,8 | 介于上述重要程度之间 |

记 $t$ 位专家确定的指标 $u_i$ 和指标 $u_j$ 的比较值分别为 $a_{ij}(1),a_{ij}(2),\cdots,a_{ij}(n)$，求其几何平均值 $a_{ij}=\prod_{k=1}^{t}(a_{ij}(k))^{1/t}$ 得到判断矩阵为

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}a_{11}&a_{12}&\cdots&a_{1n}\\a_{21}&a_{22}&\cdots&a_{2n}\\\vdots&\vdots&\vdots&\vdots\\a_{n1}&a_{n2}&\cdots&a_{nn}\end{bmatrix} \tag{5}$$

由表 2、表 3 和式(5)、式(6)得到生存、突防、毁伤、指挥、使用、保障能力指标的判断矩阵为

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}1&2&1/4&3&5&3\\1/2&1&1/3&4&3&5\\4&3&1&5&3&5\\1/3&1/4&1/5&1&1/2&1/3\\1/5&1/3&1/3&2&1&2\\1/3&1/5&1/5&3&1/2&1\end{bmatrix} \tag{6}$$

### 3.3 计算属性权重

先计算 $\boldsymbol{A}$ 中每行元素的乘积：

$$M_i=\prod_{j=1}^{n}a_{ij} \tag{7}$$

求 $M_i$ 的 $n$ 次方根

$$W'_i = \sqrt[n]{M_i} \tag{8}$$

得到最大特征根 $\lambda_{max}$ 对应的特征向量为

$$\boldsymbol{W}' = (W'_1, W'_2, \cdots, W'_n) \tag{9}$$

对特征向量 $\boldsymbol{W}'$ 进行归一化处理:

$$\omega_i = W'_i \Big/ \sum_{j=1}^{n} W'_j \tag{10}$$

由此求出 $\boldsymbol{A}$ 的排序向量为

$$\boldsymbol{\Omega} =$$

$$(0.2151, 0.1789, 0.3978, 0.0480, 0.0762, 0.0749)$$

### 3.4　利用 WGA 算子进行加权集结

按照 2.2 中的方法对决策矩阵进行加权集结,由式(3)得到专家 $d_k$ 的综合属性值为

$$z_1 = \boldsymbol{G}_{\omega 1}(r_{11}, r_{12}, \cdots, r_{16}) = 7.8417$$

同理,可得第 2 位和第 3 位专家的综合属性值为

$$z_2 = \boldsymbol{G}_{\omega 2}(r_{21}, r_{22}, \cdots, r_{26}) = 7.7673$$

$$z_3 = \boldsymbol{G}_{\omega 3}(r_{31}, r_{32}, \cdots, r_{36}) = 7.8127$$

### 3.5　利用 CWGA 算子进行加权集结

利用 CWGA 算子对 3 位专家给出的效能综合属性值 $z_k$ 进行组合集结,假设其加权向量为 $\boldsymbol{W}=(1/2, 1/4, 1/4)$,求得:

$$b_k = [(z_1)^{\dot{\lambda}_1}, (z_2)^{\dot{\lambda}_2}, (z_1)^{\dot{\lambda}_3}] =$$

$$(8.1714, 7.6097, 7.6537)$$

则由式(4)得到群体综合属性值为

$$z(\boldsymbol{\Lambda}, \boldsymbol{W}) = 7.8970$$

因此,该导弹武器系统效能的综合属性值属于 $C_2$ 类,即"良".

以上给出的是单一方案的武器系统效能,对于多种方案的武器系统,可以用类似的方法计算每一方案的群体综合属性值,进而比较判断各个方案的优劣,并进行排序.

## 4　结 束 语

根据效能评估的指标体系,利用层次分析法确定各指标的权重系数,再基于 WGA 理论建立评估模型,弥补了模糊数学模型中应用最大隶属度原则无法判别的不足. 结果表明,该方法可有效求解具有不确定性的多目标效能评估问题,并可用于对多种方案进行排序和择优.

## 参考文献(References)


[1] Chiclana F, Herrera F, Herrera-Viedma E. Integrating multiplicative preference relations in a multipurpose decision-making model based on fuzzy preference relations[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 122:277－291

[2] Iyer N S. A family of dominance rules for multi attribute decision making under uncertainty[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A, 2003, 33:441－450

[3] 徐泽水.求解不确定型多属性决策问题的一种新方法[J].系统工程学报,2002, 17(3): 176－181
Xu Zeshui. Anew method solving multi attribute decision making with uncertainty[J]. Journal of Systems Science, 2002, 17(3): 176－181(in Chinese)

[4] Pelaez J I, Dona J M. Majority additive-ordered weighting averaging: a new neat ordered weighting averaging operator based on the majority process[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2003, 18:469－481

[5] 马振江,周巍,颜宁,等.基于属性测度的导弹武器系统效能评估[J].兵工自动化,2007, 26(9):1－2
Ma Zhenjiang, Zhou Wei, Yan Ning, et al. Effectiveness evaluation for missile weapon system based on attribute measure[J]. Journal of Ordnance Industry Automation, 2007, 26(9): 1－2(in Chinese)

[6] 周巍,马振江,夏国平,等.导弹武器效能评估系统的设计与实现[J].微计算机信息,2007, 23(33):35－36
Zhou Wei, Ma Zhenjiang, Xia Guoping, et al. The design and implementation of effectiveness evaluation system for missile weapon system the design and implementation of effectiveness evaluation system for missile weapon system[J]. Journal of Microcomputer Information, 2007, 23(33): 35－36(in Chinese)

[7] 甄涛,王平均,张新民.地地导弹武器作战效能评估方法[M].北京:国防工业出版社, 2005
Zhen Tao, Wang Pingjun, Zhang Xinmin. Evaluating method of missile weapon system operating effectiveness[M]. Beijing: Publishing House of National Defence Industry, 2005(in Chinese)


(责任编辑:娄　嘉)