

# 综合集成赋权法在数据融合能力评估中的应用

肖红云, 肖兵

(空军雷达学院, 湖北 武汉 430032)

**摘要:** 基于系统的方法和理论, 分析了影响数据融合能力评估指标权重系数的各要素, 给出了应用综合集成赋权法确定数据融合能力评估指标权重系数的数学模型和方法、步骤, 解决了高层次上的指标样本数据的获取问题。通过实例分析, 给出了3种赋权方法在某防空武器数据融合能力评估试验中所确定的权重系数的比较结果, 进一步说明了综合集成赋权法适合应用于该类型系统的评估指标权重系数的确定。

**关键词:** 数据融合; 综合集成赋权; 权重系数; 主观赋权; 客观赋权

中图分类号: TP274.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)05-0082-04

## Application on Metasynthesis Weight Approach in Data Fusion Capability Evaluation

Xiao Hongyun, Xiao Bing

(Institution of Air Force Radar, Wuhan 4320032, China)

**Abstract:** Based on systemic method and theory, some elements influencing weight coefficient of data fusion capability evaluation index are analyzed. Mathematic models and methodological steps for weight coefficient of data fusion capability evaluation index determined by metasynthesis weight approaches are given out. Besides, the problem of sample data of index at high level is solved. Finally, Some comparative result of weight coefficient determined by three weight methods in data fusion capability evaluation test for a certain antiaircraft weapon are proposed according to examples analysis. Further it showed that metasynthesis weight approach is applied to determine weight coefficient of evaluation index for this system.

**Key words:** data fusion; metasynthesis weight approach; weight coefficient; subjective weight; objective weight

在现代化的战场, 数据融合技术已成为了作战指控系统的关键技术。国内外许多专家学者对与数据融合有关的问题开展了深入的研究。目前, 从研究内容上看, 国内外对数据融合问题的研究大致可分为: 1) 对不同数据融合算法的研究<sup>[1,2]</sup>; 2) 对数据融合问题的评估方法的研究<sup>[3-7]</sup>。但是, 针对具体系统的数据融合能力评估指标权重系数的确定方法的研究比较少见。在以往数据融合问题评估的过程中, 评估指标权重系数的确定主要借助专家和工程操作人员的经验, 权重系数的确定存在随意性大、一致性差、准确度低的缺陷, 致使对数据融合能力评估结果的客观性、科学性和完整性的共识很难达成。基于此, 本文研究将综合集成赋权法应用于数据融合能力评估指标权重系数的确定, 根据数据融合能力评估指标体系结构, 将

系统权重系数的确定分为2层, 即因素层指标权重系数的确定和性能层指标权重系数的确定。应用分层综合的思想, 先确定因素层指标的权重系数; 然后应用因素层指标对系统的性能层进行评估, 并将评估结果进行数值化、规范化处理; 最后, 将这个处理的结果当作样本来确定性能层指标权重系数。

## 1 综合集成赋权法

### 1.1 基本思想

主观赋权法反映了评价者的主观判断或直觉, 直接表达了评估者的主观信息, 突出了评估者的直觉判断力。受人为因素的干扰, 其结果可能产生一定的主观随意性。比较有代表性的这一类方法有: “集值迭代

收稿日期: 2008-07-28

作者简介: 肖红云(1975-), 女, 湖南郴州人, 空军雷达学院硕士研究生, 主要研究方向为系统分析与决策支持。

法”、“特征值法”、“序关系分析法”<sup>[8]</sup>等。客观赋权法通常利用比较完善的数学理论与方法,突出系统性能的可辨识性及系统指标的可辨识性原则,但有些具有重要价值的评价者的主观信息却被忽视了。这一类方法主要有:“均方差法”、“极差法”、“熵值法”<sup>[9]</sup>等。为使所确定的权重系数同时体现主观和客观信息,提高系统评估结果的科学性、有效性和可靠性,有的学者提出了“综合集成赋权”方法<sup>[5]</sup>。该方法根据指标体系结构特性的不同,采用“加法”和“乘法”集成原理,从逻辑上将这两大类赋权法进行有机地结合,使得权重系数的确定更加完善和有效。

### 1.2 综合集成赋权法的运行步骤

采用综合集成赋权法为评估指标确定权重系数,首先要分析评估指标体系结构的功能特性。其具体实现过程如下:

1) 评估指标体系结构功能特性分析。这里首先要确定指标体系结构的层次结构。其次要确定每层指标的代表特性。如在考虑主观赋权过程中,要分析评价者的主观信息是否便于直接表达,根据分析结果选择具体的主观赋权方法;在考虑客观赋权的过程中,要分析指标的可辨识性、样本数据的获取问题,以便于选择合适的客观赋权方法;在考虑综合集成时,要分析使用哪种集成法最符合所要评估系统的实际情况。如对需要体现被评价对象之间最大差异的综合集成,和需要“平滑”因主客观赋权法而产生的“差异”的综合集成,就要选取不同的综合集成方式。

2) 对所有将要进行赋权的指标进行预处理,包括指标类型的一致化处理、无量纲处理等,这样指标就有了一定的公度性,便于后续操作。

3) 确定主观赋权的具体方法。根据1)的分析,选

择合适的主观赋权方法,为评估指标确定主观权重系数,制定具体实施步骤,并根据实施步骤请好评估团队,确定具体算法。

4) 确定客观赋权的具体方法。根据1)的分析,选择合适的客观赋权方法,为评估指标确定客观权重系数。在具体实施过程中,还有1个需要重点考虑的问题,这就是评估指标样本数据的获取问题,即如果样本不能直接获得,要如何处理。是用模拟样本,还是用实测样本,这都是在这个过程中要解决的问题。

5) 确定综合集成的具体方式。根据1)的分析,确定所采用的综合集成的数学模型,用工程上易于实现的方法求解这个数学模型,求得综合集成所需要的参数,结合2)和3)获得的权重系数,计算出综合集成的权重系数。

## 2 综合集成赋权法在数据融合能力评估中的应用

### 2.1 基本思想

不失一般性,下面以防空武器指控系统数据融合能力评估指标权重系数的确定为例,研究综合集成赋权法在数据融合能力评估中的应用。图1所示的防空武器指控系统数据融合能力评估指标体系结构包括了3层。图1中第1层是数据融合能力层;第2层是7个决定系统数据融合能力的一级性能指标;第3层是影响一级性能指标的20个因素指标。也就是说,指标权重系数的确定要分2层进行,即因素层指标权重系数的确定和性能层指标权重系数的确定,而且,这2层不是独立的,它们之间存在序关系,即因素指标权重系数对性能指标权重系数的先序关系。

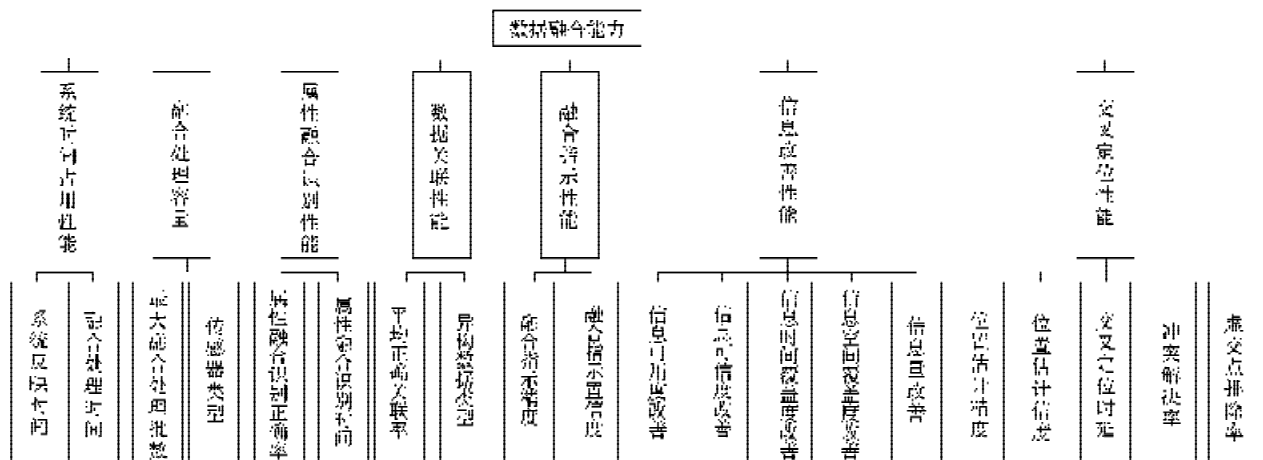


图1 防空武器指控系统数据融合能力指标体系

Fig. 1 Data fusion capability evaluation of air defense weapon control system

通过对图1所示指标体系结构特性的分析发现,第3层因素指标的样本数据可从系统靶场测试数据中获取。第2层性能指标的样本数据是不能直接获取的。

如果单纯采用客观赋权法为评估指标赋权,所确定的第3层因素指标的权重系数将忽略一些重要的专家信息,对样本的依赖程度大、鲁棒性低;而且,由于第

2 层性能指标的样本数据无法直接获取，不能应用客观赋权法为第 2 层性能指标确定权重系数。所以，考虑采用主客观相结合的综合集成赋权法为数据融合能力评估指标确定权重系数。按照指标体系结构层次之间的序关系，分层确定指标权重系数，即将评估指标权重系数的计算分为 2 部分，第 1 部分是因素指标层的权值系数计算；第 2 部分是性能指标层的权值系数计算。第 1、2 部分的主观赋权法计算独立进行，所使用的赋权方法可相同也可以不同。在第 1 部分的客观赋权法计算过程中，利用防空武器靶场试验实测的防空武器指控系统历史数据来构造样本，以便于提高权值系数计算的科学性、有效性和可靠性。接下来在第 2 部分的客观赋权法计算过程中发现，这部分指标的样本不是直接可得的，即在以往武器系统的靶场试验过程中，这部分数据不可以直接获得。而要对指标进行客观赋权，首要条件是要有充足的样本，于是想到，先利用因素指标对每一个性能指标进行评估，这个评估的结果代表每一个性能指标好坏程度，然后将这个评估结果量化，即把每一个性能的好坏程度用数值表示，这个数值就是区间 (0,1) 上的实数。越靠近 0 代表性越差，越靠近 1 代表性越好。具体的数值化方法可以参考如下规定。如可以规定性能为优的定义指标值在 0.9 以上；性能为良的定义指标值在区间 [0.8,0.9) 上；性能为中等的定义指标值在区间 [0.6,0.8) 上；性能为差的定义指标值在区间 [0.5,0.6) 上，性能为很差的定义指标值在 0.5 以下。当然，这种量化方式不是唯一的，可以根据不同的数据融合系统功能特性，定义不同的数值化量化方法。这样就可以应用这个量化结果作样本，计算第 2 层的性能指标的客观权值系数。

采集防空武器指控系统靶场实测数据为第 3 层因素指标进行客观赋权，构造进行客观赋权所需要的样本。由于防空武器指控系统靶场实测历史数据并不是仅仅针对数据融合能力评估的专项数据。所以，要对所采集到的数据进行修剪，使其与应用客观赋权法为数据融合能力评估指标赋权的要求相符合。也就是提炼出与所建立的指标体系中的 20 个因素指标相关的数据项，并由对指标进行预处理，使其成为统一标准的规范化评估样本数据，建立样本集合。为进行客观赋权做好样本数据准备。

采集第 3 层各组因素指标的综合集成赋权评估结果作为原始样本，为第 2 层性能指标进行客观赋权。于是，要对原始样本中的所有数据进行数值归一化处理，使其成为区间 (0,1) 中的实数。选取  $m$  套经典防空武器指控系统相应的测试数据，计算第 3 层指标评估结果，以此构造确定第 2 层性能指标权重系数所需要的样本集合。同第 3 层因素指标综合权重系数计算方式一样，采用综合集成原理，计算出同时体现主客

观信息集成特征的第 2 层性能指标综合权重系数。

### 2.2 数据融合能力评估指标的综合集成赋权<sup>[6]</sup>

根据上一节的分析，同时考虑工程实现上的易操作性，采用“集值迭代法”为评估指标进行主观赋权，采用“均方差法”为评估指标进行客观赋权，采用“加法”集成原理进行综合集成。

“集值迭代法”的运行步骤如下：

假设某一组指标分别记为  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，分别请 20 位由专家和工程技术人员组成的团队独立地从指标集  $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  中挑出他认为最重要的  $m(m<n)$  个指标构成 20 个指标集，并依次记为：

队员 1:  $X^{(1)}=\{\text{第 1 个队员选出的 } m \text{ 个指标}\}$ ，

队员 2:  $X^{(2)}=\{\text{第 2 个队员选出的 } m \text{ 个指标}\}$ ，

⋮

队员 20:  $X^{(20)}=\{\text{第 20 个队员选出的 } m \text{ 个指标}\}$ ，

则在这 20 个指标集中，指标  $x_i(i \in (1, 2, \dots, n))$  被选中的次数为： $g(x_i) = \text{Num}\{x_i \in X^k, k \in (1, 2, \dots, 20)\}$ ，

指标  $x_i(i \in (1, 2, \dots, n))$  的主客观权重系数  $p_i = \frac{g(x_i)}{\sum_{k=1}^m g(x_k)}$ 。

若考虑某一个指标一直未被选中，则主观权重系数调

$$\text{整为: } p_i = \frac{g(x_i) + \frac{1}{2m}}{\sum_{k=1}^m g(x_k) - \frac{1}{2m}}$$

“均方差法”的运行步骤如下：假设某一组指标分别记为  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，每一个指标的样本记为  $x_{ij}$ ；其中， $i \in (1, 2, \dots, n)$  表示  $n$  个指标， $j \in (1, 2, \dots, m)$  表示每个指标有  $m$  个样本。

$$1) \text{ 计算样本方差: } s_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2, i=1, 2, \dots, n,$$

其中  $\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 为样本均值。

$$2) \text{ 计算客观权重系数 } q_i: q_i = \frac{s_i}{\sum_{i=1}^n s_i}$$

标  $x_i(i \in (1, 2, \dots, n))$  基于主客观赋权法原理生成的权重系数分别是  $p_i, q_i$ ，则同时体现主客观信息集成特征的权重系数  $w_i$  的计算方式为： $w_i = k_1 p_i + k_2 q_i, i=1, 2, \dots, n$ ，

$$k_1 = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n p_i x_{ij}}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n p_i x_{ij}\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n q_i x_{ij}\right)^2}}$$

$$k_2 = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n q_i x_{ij}}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n p_i x_{ij}\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n q_i x_{ij}\right)^2}}$$

其中:  $k_1 > 0$ ,  $k_2 > 0$ ,  $k_1 + k_2 = 1$ ,  $x_{ij}$  为指标  $x_i$  的第  $j$  个样本数据, 每个指标有  $m$  个样本。

### 2.3 综合集成赋权法应用实例分析

考虑图 1 所示的防空武器数据融合能力评估指标体系。以图中第 2 层性能指标“系统时间占用性能”和第 3 层因素指标“系统反映时间”、“融合处理时间”为例, 说明这 3 个指标权重系数的确定过程。在计算过程中假定指标及指标的样本数据已经过预处理, 经过预处理后的指标数据具有规范化、标准化等特性。对某武器系统数据融合中心的数据融合能力进行靶场试验的过程中, 如果单纯按照主观或客观的方法来确定权重系数, 得到了如表 1 的结果。如果按照综合赋权的方法来确定权重系数, 得到如表 2 的结果。

表 1 按主观或客观方法确定的权重系数

Table 1 The weight coefficients of subjective and objective method

指标	客观权重系数	主观权重系数
系统反映时间 $x_1$	0.32	0.45
融合处理时间 $x_2$	0.68	0.55
系统时间占用性能 $y_1$	无法确定	0.13

表 2 按综合赋权法确定的权重系数

Table 2 The weight coefficients of metasynthesis weight approach

指标	系数		
	客观权重	主观权重	综合集成权重
系统反映时间 $x_1$	0.32	0.45	0.38
融合处理时间 $x_2$	0.68	0.55	0.62
系统时间占用性能 $y_2$	0.11	0.13	0.12

数据融合能力评估结论是指标权重系数敏感的。比较表 1 和表 2 所示的权重系数。在表 1 中, 如果采用主观权重系数, 则评估结果依赖于评价者的主观判断和直觉, 试验过程中产生的实测数据也没有在权重系数确定过程中发挥更大的作用。如果采用客观权重系数, 则权重系数的确定和系统评估结果主要依赖测试数据, 而忽视了评价者的主观信息, 不能充分发挥人的主观能动性。如果采用综合集成的权重系数, 则能较好地克服单纯使用两种方法赋权的缺陷, 最大限度地发两种赋权法的优势。仔细分析图 1 所示的指标体系结构的功能特性, 发现指标体系结构是分层的; 各层之间存在序关系; 指标具有主观可辨识的特性; 指标具有客观可辨识的特性; 指标的样本数据是可得的。因此, 从数据融合能力评估指标体系结构的功能特性出发, 采用分层的思想, 应用综合集成赋权的方法为数据融合能力指标确定权重系数, 就可以最终评定出系统关于数据融合能力大小的一个确定的数值表示。在这个过程中, 还解决了第 2 层性能指标样本数据的获取问题, 使每一层指标都可应用综合集成赋权的方法确定权重系数。采用这种权重系数确定法能在

一定程度上提高评价结果的科学性、有效性和可信度。对其它具有类似指标体系结构特性的系统的权重系数的确定也可借鉴应用综合集成赋权法的方法。

### 3 结语

本文将防空武器指控系统数据融合能力评估指标体系结构特征, 与评估指标权重系数确定方法的功能特性研究结合起来, 将综合集成赋权法应用于数据融合能力评估指标的权重系数的确定, 应用了分层赋权的思想, 解决了应用过程中的样本获取问题。通过分析, 应用这种方法对系统评估指标进行权重系数的确定, 不仅可以提高评估结果的科学性、有效性和可靠性, 还有利于评估结果的校准化表示, 有利于评估结果的交流。但是, 本文应用的方法没有考虑有些指标的极限情况, 比如, 客观样本容量不够。所以, 本文应用的方法不具有普适性, 只适用于与数据融合能力评估指标体系结构特性相似的系统, 下一步将在这方面开展研究。

#### 参考文献:

- [1] 梁凯, 潘泉, 程咏梅, 等. 样本均值随机加权估计数据融合方法研究[J]. 火箭与制导学报, 2007, 27(3): 314-316.
- [2] 何友, 王国宏, 陆大口, 等. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [3] 杨万海. 多传感器数据融合及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.
- [4] 潘爽, 马林立. 多传感器稳健加权融合算法研究[J]. 传感器与微系统, 2007, 26(5): 80-85.
- [5] 徐丹, 沈继峰, 刘同明, 等. 信息融合系统性能测试指标和方法研究[J]. 江苏科技大学学报: 自然科学版, 2005, 19(6): 45-49.
- [6] Edouard Boily. Performance Evaluation of a Multi-Sensor Data Fusion Implementation—A Progress Report[J]. SPIE, 1994, 2235: 570-579.
- [7] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [8] 余安喜, 胡卫东, 郁文贤, 等. 航迹相关与融合的性能评估[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(7): 897-899.
- [9] 陈炜, 王小非. 一种舰载指控系统情报处理性能仿真测试评估方法[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(18): 4146-4149.
- [10] 贺筱媛, 胡晓峰. 指控自动化系统效能评估方法探索[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(5): 723-726.
- [11] 郭眺. 情报信息系统效能评估的研究[J]. 工科大学, 2000, 16(6): 16-19.
- [12] 陈国宏, 李美娟, 陈衍泰. 组合评价及其计算机集成系统研究[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.

(责任编辑: 张亦静)