

基于 TAS 法的作战能力评估方法研究

龚德良^{1,2}, 黄炎焱², 吴东坡²

(1. 湘南学院计算机科学系, 郴州 423000; 2. 国防科学技术大学, 长沙 410073)

摘要: 在装备论证中需要评估武器装备的作战能力, 而通常要处理的数据是非战果性异构数据, 往往难以直接综合。建立以 TOPSIS 法为核心, 结合 AHP 法及作战仿真法采集的数据的综合评估模型(TAS 法), 对武器装备的作战能力进行评估。以装甲装备方案作战仿真为背景, 对装甲装备的各项作战能力进行评估, 结果反映了所估计的问题, 说明该评估方法具有很好的适用性。

关键词: TOPSIS 法; 作战能力; 仿真数据; 装甲装备

Research on Method of Operational Capability Evaluation Based on TOPSIS-AHP-simulation Method

GONG Deliang^{1,2}, HUANG Yanyan², WU Dongpo²

(1. Computer Science Department, Xiangnan College, Chenzhou 423000; 2. National University of Defense Technology, Changsha 410073)

【Abstract】 It is necessary to evaluate the operational capability of weapon equipment during its demonstration, however, the data to be dealt is often not the fighting results data with different sorts, and they are uneasy to fuse. And therefore, a comprehensive method based on TOPSIS, AHP and Simulation method is built to evaluate the operational capability of weapon equipment(TAS). An example about the operational capability evaluation on armored equipments under the mission simulation is analyzed, and the evaluation results agree with the fact results. Result shows the comprehensive method is rather feasible.

【Key words】 TOPSIS method; Operational capability; Simulation data; Armored equipment

武器装备论证中, 通常需要借助于仿真的方法对武器装备的作战能力进行评估^[1]。武器装备的作战能力与作战效能不同, 作战能力主要考察作战装备的性能及表现, 而作战效能着重于以战果来度量完成任务的能力。实际中并不是仿真实验都能够获取战果性仿真数据, 这样有时就难以使用作战效能来衡量武器完成任务的程度。但是要反映武器装备某项能力因素对作战起到什么作用, 可以采用作战能力来度量。而许多情况下作战能力是采用非战果性数据来度量, 如机动能力可以采用行军速度作为其中一个指标, 而行军速度并不像战果性数据如毁伤率那样难以获得。但用这些非战果性数据来反映作战能力, 不足之处是其表达数据繁多, 且性质各异, 甚至有非定量数据, 若采用指标向上直接综合的方法是较困难的。针对这些异构的非战果性数据, 文献[2]采用基于方案对比的仿真数据处理方法值得借鉴, 不足的是没有对评估因素进行很好的讨论。

事实上, 从对装备论证评估目的而言, 军方需要监督工业方。对军方而言, 他们除了要关心装备型号是否能满足作战任务, 是否能产生更多的战果性数据外, 还需要了解工业方提供的装备是否有这样的能力, 即评估装备拥有的能力和工业方提供的设计的战技指标是否相符。通过评估对比作战能力的变化, 了解需要加强的战技因素, 进而表达了军方的需求和关切, 可指导工业方进一步的设计。本文针对武器装备的作战能力, 集成以方案对比为中心的TOPSIS法^[3]、层次分析法^[4]及仿真评估方法^[5], 对作战能力进行评估。

1 TAS 方法及关键技术

1.1 TAS 方法简介

TAS 法是 TOPSIS 法、AHP 法以及仿真法 Simulation 的

集成方法。TAS 核心思想是基于方案对比为中心的方法, 通过建立武器装备作战能力的评估指标体系(它可由多个能力子指标体系组成), 通过 AHP 法分别获取作战能力评估指标体系的权重向量, 再汲取多属性决策方法中 TOPSIS 法的思想, 把每个型号方案仿真实验采集的数据进行转换处理, 生成基础指标归到分属于它们的各项指标位置之下, 随着多个型号方案实验指标数据的加入, 形成一个多方案与多属性的判断矩阵, 对其进行归一化处理及权重分配, 进而针对该归一化的判断矩阵进行分析。判断矩阵的列是同性质可比较的, 根据属性类型(成本型或效益型), 从归一化的判断矩阵中各个属性列分别找出最理想值和负理想值, 并依次组成属性空间的最理想点和负理想点。再分别求取各方案的属性与最理想点和负理想点的欧式距离, 最后根据理想方案贴近度大小进行方案的比较。

鉴于一般武器装备的作战能力在功能上主要包括几个基本能力, 如火力能力、机动能力、防护能力及通信能力, 把指标体系考虑成为 4 个基本能力的并行的子指标体系并进行独立评估。根据装备作战能力的评估要求, 构建多因素的方案, 对于每一项能力指标体系, 采用 AHP 法分析指标权重, 从仿真实验采集相应的数据, 进而使用 TOPSIS 法将数据评估集结成欧式距离贴近度, 即各方案对应的作战能力相对值。而每个指标体系底层指标之间的权重, 采用 AHP 法需要获取; 指标数据从仿真实验获取; 指标数据评估聚集采用 TOPSIS 法。

作者简介: 龚德良(1964 -), 男, 在职硕士生、副教授, 主研方向: 计算机辅助教学与软件工程; 黄炎焱、吴东坡, 博士生

收稿日期: 2006-04-25

E-mail: yyhuang_99sina.com

1.2 层次分析法步骤和算法

当建立各作战能力评估指标体系后,需根据各建立的评估指标体系,利用 AHP 法对各评估指标权重进行求取,为后面判断矩阵的标准化提供权重。假设装备某项作战能力评估指标体系如图 1 所示。

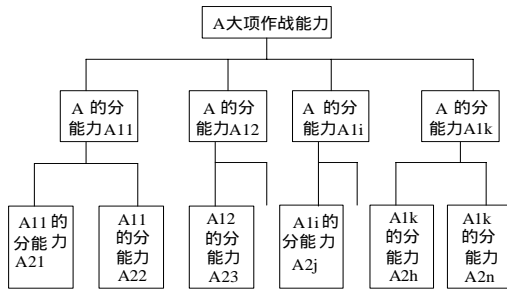


图 1 某项作战能力评估指标体系

根据评估指标体系求取相关指标权重的方法步骤如下：

(1)根据能力的评估指标体系特点,构建判断矩阵

在层次化指标中,判断矩阵表示针对上一层某因素而言,本层次上有关因素之间两两进行重要性对比。某层次因素 $A_{k-1,m}$ 而言和其下一层次 $A_{k,j}$ 有联系。采用Satty的9标度法赋值形成判断矩阵。

表 1 判断矩阵

A_k	A_{k1}	A_{k2}	...	A_{kn}
A_{k1}	b_{11}	b_{12}	...	b_{1n}
A_{k2}	b_{21}	b_{22}	...	b_{2n}
...	b_{ij}	...
A_{kn}	b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nn}

其中,标度集 $\{b_{ij}\} \in \{1,2,3,\dots,9\}$ 。

(2)计算判断矩阵每一行元素的乘积 M_i

$$M_i = \prod_{j=1}^n b_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

(3)计算 M_i 的 n 次方根

$$\bar{W} = \sqrt[n]{M_i}$$

(4)对向量 $\bar{W} = [\bar{W}_1 \quad \bar{W}_2 \quad \dots \quad \bar{W}_n]^T$ 规范化,即为所求的特征向量

$$W_i = \bar{W}_i / \sum_{j=1}^n \bar{W}_j \quad (2)$$

把产生的指标的特征向量看成是指标的权重向量。需要考虑判断矩阵的一致性检验。

(5)计算判断矩阵的最大特征值 λ_{\max}

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad (3)$$

(6)层次单排序的一致性检验

一致性指标 CI

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1) \quad (4)$$

平均随机一致性指标 CR

$$CR = CI / RI < 0.1 \quad (5)$$

RI表示同阶平均随机一致性指标,见表2。若权重不一致还需进行判断矩阵的调整,确保排序指标通过一致性检验。

表 2 平均随机一致性指标

阶数	1~2	3	4	5	6	7	8	9
R.I.	0	0.52	0.89	0.12	1.26	1.36	1.41	1.46

1.3 仿真数据的采集

一般论证仿真中,武器装备的作战能力评估属于仿真的需求起点,又是仿真的目的终点。在仿真建模之初就要提出

评估指标体系,进一步细化到要采集的仿真数据内容。并与仿真建模任意进行交互探讨,表达要采集的数据内涵,以有目的地引导仿真数据的收集。为此,需要预先提供一个仿真数据采集单给仿真建模模块,当仿真系统根据仿真目标和数据采集单进行运作就可以提高仿真的针对性及目的性。仿真过程中,数据的传输转换统一使用商用可扩展语言——XML语言。令仿真采集的原始数据在仿真运行中通过XML文件进行保存与传输,并且仿真中的XML文件的格式和DTD格式与评估系统数据采集文件保持严格的统一。当一个仿真方案的实验完成后,该方案的仿真原始数据按照仿真采集单的形式存放到资源库中,多个仿真方案,可获得多个仿真结果XML文件。这些文件将是评估方案对应的属性集。

而通常仿真系统有个不足,难采集到聚合的指标,得到的仿真数据通常是以原始数据为主。为此,需要对这些原始的仿真数据进行一定工作量的统计处理与归并,最终形成可以适用于评估方法的基础数据。这个过程需要设计基础指标解算模块来完成,把原始数据处理为能够体现指标体系中的基础指标。这样就可完成从原始数据的采集到基础指标值的转换。处理好的基础指标再使用XML文件的格式进行传输,等待评估操作的调用。

1.4 TOPSIS 法步骤和算法

逼近于理想解的排序方法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)是一种普遍的评估方法,其关键点是通过评估方案的测度——多维属性空间的欧式距离来度量各方案的优劣评估值。每一项作战能力,都是由多个属性来体现的,而本文的作战能力属性值是仿真采集并解算出来的作战能力基础指标,此评估问题也是多属性评估问题。

针对某武器装备的作战能力指标体系,抽取最下层的评估指标形成评估的判断矩阵。把取到的指标属性值按照1.3节所述做法分别采集到相应的数据,并把它们填充到对应的判断矩阵元素中,形成一个方案-属性矩阵。方案-属性见表3。

表 3 方案-属性

方案	属性 1	属性 2	...	属性 n
型号方案 1	C11	C21	...	C1n
...
型号方案 n	Cn1	C22	...	Cnn

其中 c_{ij} 代表第 i 个方案的第 j 个属性值,从仿真中采集得到。

采用的TOPSIS法的评估步骤如下:

(1)将表3的属性值转换为初始评估矩阵C。

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix}$$

由于评估矩阵C的特点是属性值之间可能无法比较,而属性列具有可比性,可从列向值对C进行处理,结合各列指标的权重系数 w_j ,进行归一化处理,可得规范化矩阵R,其元素 r_{ij} 为

$$r_{ij} = w_j \cdot c_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^n c_{ij}^2} \quad (6)$$

归一化的评估矩阵是下一步评估基础。

(2)规范化矩阵R中找出正负理想方案

寻找正负理想方案时考虑属性是效益型或成本型情况,并采取不同的处理方式。找到的理想方案点 x^* 为

$$\{(\max_i r_{ij} | j \in J), (\min_i r_{ij} | j \in J') | i \in M\} = [r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+] \quad (7)$$

同理, 找出负理想方案点 x^- 为

$$\{(\min_i r_{ij} | j \in J), (\max_i r_{ij} | j \in J') | i \in M\} = [r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-] \quad (8)$$

式中 M 指方案集, J 与 J' 分别属于效益型、成本型属性集。

(3) 计算各方案到正、负理想点的欧式距离
方案 i 到正理想点的欧式距离为

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad (i \in M) \quad (9)$$

到负理想点的欧式距离为

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad (i \in M) \quad (10)$$

(4) 计算每个方案逼近理想方案的贴近度 C_i

$$C_i = S_i^- / (S_i^- + S_i^+) \quad (11)$$

贴近度越大则越远离负理想点, 越逼近正理想点, 该测度对应的方案则相对越优。在给定一组方案中, 该贴近度可反映方案的优劣程度, 或评估方案的能力相对大小。

2 应用算例

装甲装备的作战能力评估中, 作战能力通常包括如下几大能力: 火力能力, 机动能力, 防护能力, 通信能力。这些能力组成了装甲装备的功能集, 可以单独对这些能力进行评估, 从总的作战能力视图看, 把包括各大作战能力的指标体系一起建立如图 2 所示, 但是可以单独对各能力评估。

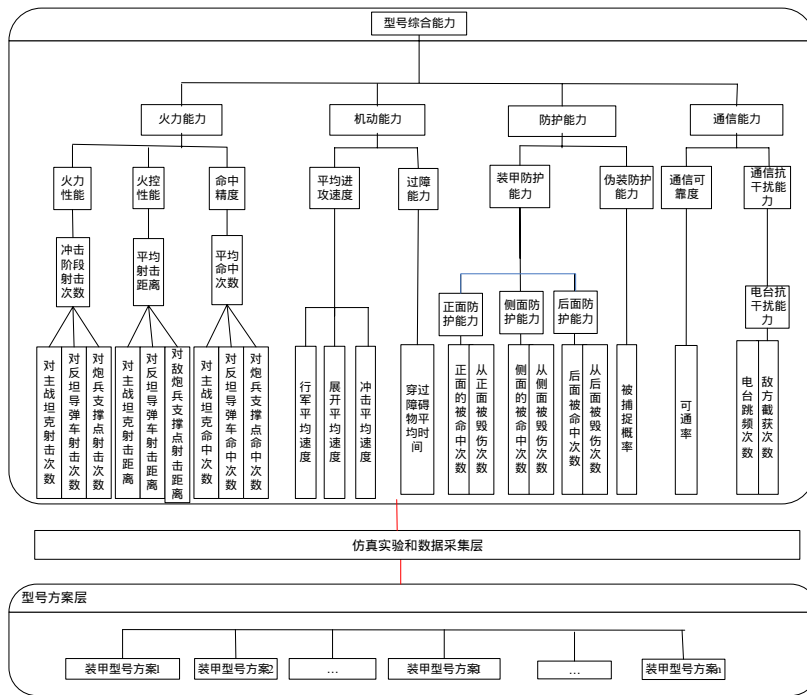


图 2 装甲装备作战能力的评估指标体系

为了了解武器装备作战能力的每个能力项, 可逐个对各能力进行评估。下面利用 TAS 方法对火力能力进行评估。其他几大项能力的求法也依次类推。假设抽取 4 个不同调节因素的装甲装备方案: 方案 1 加挂新装甲, 方案 2 提高 $x\%$ 的速度, 方案 3 提高首发命中率, 方案 4 配置先进电台。于是具体的评估应用步骤如下:

第 1 步: 选择对应的火力能力评估指标体系, 利用层次分析法求取底层的评估指标的权重 W 。

针对火力能力 A 而言, 下层火力性能 A_{11} 、火控能力 A_{12} 、命中精度 A_{13} 等因素构成判断矩阵 D 。

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

而分别针对火力性能 A_{11} 、火控能力 A_{12} 、命中精度 A_{13} 的其下层次指标因素构成的判断矩阵分别是 D_1 、 D_2 、 D_3 , 只给出 D_1 的判断矩阵如下, 其余因篇幅不一给出。

$$D_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1/2 & 1/2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1/2 & 1/2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1/4 & 1/3 & 1/2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1/2 & 1/2 & 1 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1/3 & 1/2 & 1/2 \\ 2 & 2 & 4 & 2 & 2 & 3 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

D_1 的最大特征值求得是 9.044 1。代入式(4)、式(5)得到 $CI=0.005 512 5$, 查表得 $RI=1.46$, 计算 $C.I.=0.003 76 < 0.1$, 满足一致性条件。其它判断矩阵 D_2 、 D_3 类似。

最后经过计算及一致性检验, 得到一个合适的火力矩阵底层各评估指标的权重向量为

$$W = (0.112, 0.112, 0.054, 0.104, 0.104, 0.058, 0.201, 0.172, 0.083)$$

第 2 步: 通过仿真系统采集评估数据。

下面是从计算机仿真采集到的型号方案 i 的试验方案的火力能力相关的仿真原始数据的片断, 以可扩展文件形式 $xh1.xml$ 记录如下:

```
<火力能力数据> <火力性能>
<冲击阶段射击次数 对敌主战坦克射击次数="5" 对敌反坦克导弹车射击次数="8" 对敌炮兵支撑点射击次数="9"/>
</火力性能> <火控性能>
<平均射击距离>
<对敌主战坦克射击平均距离开始射击的 x 坐标位置="3" 开始射击的 y 坐标位置="3" 落点 x 坐标位置="4" 落点 y 坐标位置="4.5"/>
```

```
<对敌反坦克导弹车射击平均距离开始射击的 x 坐标位置="12.5" 开始射击的 y 坐标位置="10" 落点 x 坐标位置="11.3" 落点 y 坐标位置="11.5"/>
```

```
<对敌炮兵支撑点射击平均距离开始射击的 x 坐标位置="4" 开始射击的 y 坐标位置="4" 落点 x 坐标位置="5.4" 落点 y 坐标位置="5.5"/>
```

```
</平均射击距离> </火控性能>
<命中精度>
<平均命中次数 对敌主战坦克射击命中次数="2" 对敌反坦克导弹车射击命中次数="3" 对敌炮兵支撑点射击命中次数="6"/>
```

```
</命中精度></火力能力数据>...
```

第 3 步: 通过仿真原始指标的处理, 可得到基础指标数据文件, 再从其中提取火力能力的指标形成评估矩阵。

上述第 2 步提到的只是某一型号方案 1 的仿真数据, 按照相同方法可采集其他方案的仿真数据, 并把 4 个型号方案的仿真数据依次压栈到指标的属性表中, 可形成一个 n 个方案的评估矩阵。如对于火力能力的评估矩阵 C 如下:

(下转第 281 页)