

基于 IGAHP—熵—博弈论—Choquet 积分的新型装甲装备通用质量特性评价模型研究

陈春良¹, 刘彦¹, 张雅卿²

(1. 装甲兵工程学院 技术保障工程系, 北京 100072; 2. 中国北方车辆研究所, 北京 100072)

摘要: 为实现新型装甲装备通用质量特性评价, 在建立评价指标体系的基础上, 结合新型装甲装备特点, 明确了通用质量特性对评价的要求, 运用改进群体层次分析法 (Improved Group Analytic Hierarchy Process, IGAHP) 确定了指标的主观权重, 采用熵权法明确了指标的客观权重, 并引入博弈论的思想融合了主客观权重, 考虑到评价准则之间的关联性, 引入了模糊测度的概念, 运用 Choquet 积分实现了指标评价聚合, 构建了新型装甲装备通用质量特性评价模型, 为新型装甲装备通用质量特性的改进研究奠定了基础。

关键词: 新型装甲装备; 通用质量特性; 博弈论; Choquet 积分; 评价

Research on Establishing Evaluation Index System of New Type Armored Equipment Common Quality Characters Based on RST—QFD—Bayes

Chen Chunliang¹, Liu Yan¹, Zhang Yaqing²

(1. Department of Technique Support Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;

2. China North Vehicle Research Institute, Beijing 100072, China)

Abstract: In order to evaluating new type armored equipment common quality characters, in the base of establishing evaluation index system, requirements of common quality characters was explicit combined with new type armored equipment characteristics. By using IGAHP method, the subjective weights of indexes were confirmed. And the objective weights of indexes were ascertained though Entropy method. Though introducing game theory, the subjective weights and objective weights were fused. In consideration of the relevance problem among different evaluation criterions, concept of fuzzy measures was introduced. Evaluate data of indexes are aggregated by using Choquet integral and the evaluation model of new type armored equipment common quality characters is established, which established the foundation of improvement research of new type armored equipment common quality characters.

Keywords: new type armored equipment; common quality characters; game theory; Choquet integral; evaluate

0 引言

新型装甲装备技术密集、结构复杂, 制造成本、使用和保障要求都很高, 其通用质量特性的保持和发挥直接影响其作战能力和战备完好性。但随着时间的推移, 新型装甲装备在训练、使用及维修保养过程中, 暴露出许多严峻问题, 极大地影响了部队战斗力和保障能力的快速形成。为了探究新型装甲装备通用质量特性水平, 挖掘其深层次原因, 亟待进行新型装甲装备通用质量特性评价研究, 以期提出改进的合理化建议, 进而改善和提高新型装甲装备质量。

国内外针对质量评价问题进行了深入的研究, AHP 法很大程度上依赖于专家经验, 无法排除专家可能存在的严重片面性, 并且计算较为粗糙, 精度较低^[1]。熵权法利用平均信息量度量指标的不确定性, 并通过熵值判断指标离散程度, 从而确定客观权重, 具有较强的主观性, 但忽略了决策者的偏好与倾向^[2]。BP 神经网络运用多层次反馈型网络, 能够有效解决质量评价指标多、主观影响大的问题, 但其评价结果的准确性依赖于训练样本的质量^[3]。

上述方法建立在评价指标之间相互独立的基础上, 没有考

虑到新型装甲装备通用质量特性评价准则之间相互影响的现状。为此, 本文提出运用基于 IGAHP—熵—博弈论—Choquet 积分的方法建立评价模型, 既科学合理地融合主客观权重又解决评价准则相互关联的问题, 从而进行新型装甲装备通用质量特性评价。

1 评价指标体系构建及评价思路分析

1.1 评级指标体系构建

新型装甲装备通用质量特性包括可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性以及环境适应性。按照通用质量特性的构成要素, 构建新型装甲装备通用质量特性评价指标体系如图 1 所示。

1.2 新型装甲装备通用质量特性的评价思路

新型装甲装备通用质量特性构成要素之间既相互联系、相互统一, 又相互影响、相互依存, 因此传统的线性加权评价不适用于新型装甲装备通用质量特性的评价。

通过分析新型装甲装备特点以及新型装甲装备通用质量特性评价指标体系, 结合底层指标度量、指标赋权以及指标聚合这 3 个评价具体流程, 可以得到新型装甲装备通用质量特性评价对评价方法的要求如下: ①如何处理评价准则之间的非独立性问题; ②如何处理专家群体的差异性问题; ③如何处理主客观权重之间的关系。

本文针对新型装甲装备通用质量特性对评价的相关要求, 拟定新型装甲装备通用质量特性评价思路:

收稿日期: 2015-05-04; 修回日期: 2015-05-19。

作者简介: 陈春良 (1963-), 男, 河北容城人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事装备保障与运用方向的研究。

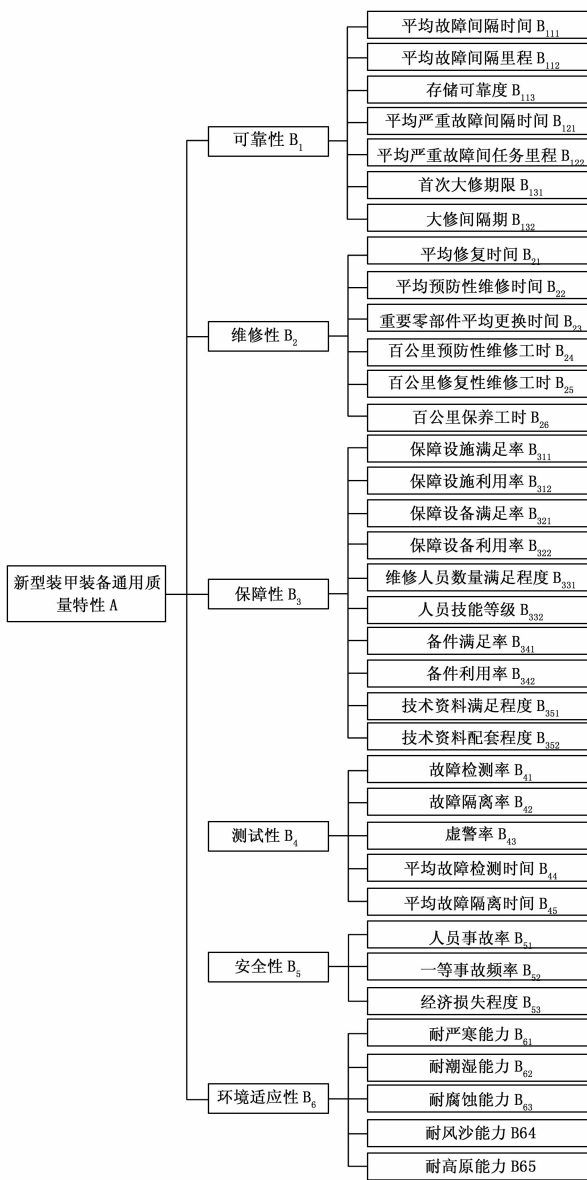


图 1 新型装甲装备通用质量特性评价指标体系

在底层指标方面, 按照定性指标和定量指标分别进行确定。对于定性指标, 根据新型装甲装备通用质量特性实际情况, 由相关领域专家对其进行评价而确定。对于定量指标, 其评价值的确定依据其指标数据统计值, 针对极大型指标和极小型指标, 分别按照新型装甲装备各指标合同值进行比较分析, 得出定量指标的评价值。

在指标赋权方面, 运用 IGAHP 法, 通过分析专家权重判断的差异程度来明确专家间的决策权重系数, 从而弱化单个专家评估的随机性、主观认识上的不确定性和专家分歧性对最终评估结果的影响, 最终集结专家群体的决策得到相对合理的主观权重。另一方面, 采用熵权法, 从信息论的角度出发, 通过指标的离散程度来确定指标的客观权重。最终, 通过博弈论, 在主客观权重中寻求一致性妥协, 使得最终权重与主客观权重的偏差最小, 得到最合理化的指标权重。

在指标聚合方面, 采用 Choquet 积分, 通过引入模糊测度的概念, 利用单调性代替可加性, 充分考虑到评价准则之间的

关联性, 通过对评价值的非线性积分, 实现指标的聚合, 最终得到合理的评价值。

2 基于 IGAHP—熵—博弈论—Choquet 积分的评价模型

2.1 基于 IGAHP 法的指标主观权重赋权

(1) 专家权重确定:

IGAHP 进行指标主观权重确定的重点在于确定专家决策的权重, 通过提出欧式距离^[4]的概念, 根据专家们给出的决策值算出各专家之间的欧氏距离, 并加权得到各专家与其余专家决策的相似程度, 进而确定各专家权重, 从而确定指标的主观权重。

由传统 AHP 得到 m 位专家给出的 n 个指标的初始权重, 记第 x 位专家和第 y 位专家给出的新型装甲装备通用质量特性评价指标权重向量分别记为 $W_x = (\omega_{x1}, \omega_{x2}, \dots, \omega_{xm})^T$ 和 $W_y = (\omega_{y1}, \omega_{y2}, \dots, \omega_{ym})^T$ 。则称两专家之间的相近程度为欧氏距离, 记为 d_{xy} 。

$$d_{xy} = d(W_x, W_y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\omega_{xi} - \omega_{yi})^2} \quad (1)$$

d_{xy} 满足以下条件: ① $d_{xx} = 0$; ② $d_{xy} = d_{yx} \geq 0$; ③ d_{xy} 越小, 表明 W_x 与 W_y 越接近, 即两位专家的判断越接近。当且仅当 $d_{xy} = 0$ 时, 表示两位专家判断完全一致, 即等效于完全相容。

令第 i 位专家的判断与其他所有专家判断的相似程度用 d_i 表示, 则:

$$d_i = \sum_{j=1}^m d_{ij} \quad (2)$$

由上式可知, 当 d_i 越小, 表示 W_i 与其它权重向量越接近, 当 $d_i = 0$ 时, 表示所有的权重向量相等, 即每一位专家的判断都一样。

所以, 第 i 位专家的权重为:

$$\mu_i = \begin{cases} \frac{1}{m}, & d_i = 0 \\ \frac{1}{d_i}, & d_i \neq 0 \\ \sum_{j=1}^m (\frac{1}{d_j}) \end{cases} \quad (3)$$

(2) 指标主观权重确定:

记新型装甲装备通用质量特性的某一评价指标的主观综合权重为 η , 通过 m 位专家给出的初始权重及这 m 位专家的各种权重, 可以求得指标的主观综合权重向量为:

$$\eta = \sum_{i=1}^m \mu_i \times W_i = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n) \quad (4)$$

2.2 基于熵权法的指标客观权重赋权

信息熵是系统无序程度的一种度量, 而熵权法的实质就是根据指标所提供的信息量的大小来确定指标的离散程度, 从而确定指标的权重^[5]。

将在一个信息通道内传输的某一信号的数量称为信息量, 记第 i 个信号的信息量为 I_i , 则:

$$I_i = -\ln p_i \quad (5)$$

式中, p_i 是第 i 个信号出现的概率, 对于新型装甲装备通用质量特性评价, p_i 代表第 i 位专家的特征比重。对于第 j 项指标, 第 i 个专家的特征比重为 p_{ij} 为:

$$p_{ij} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_{i=1}^n \omega_{ij}} \quad (6)$$

由此得出第 j 项评价指标的熵值 E_j 为:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (7)$$

式中, k 为一个与度量单位有关的正常数, 通常取 $k = \frac{1}{\ln n}$ 。

将信号包含的信息量在所有序列中的差异程度称为差异性系数, 记第 i 个信号的差异性系数为 ξ_i , 且 $\xi_i = 1 - E_i$ 。差异性越强, 信号 i 的重要性越明显。由此得出第 j 项评价指标的差异性系数 ξ_j :

$$\xi_j = 1 - E_j \quad (8)$$

最终得到评价指标的熵值 δ_j 为:

$$\delta_j = \frac{\xi_j}{\sum_{k=1}^n \xi_k} \quad (9)$$

式中, n 为评价指标个数。

故基于熵权法所得到的评价指标客观权重向量为:

$$\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n) \quad (10)$$

2.3 基于博弈论的指标综合权重赋权

传统主客观综合权重的确定一般是通过线性加权法来确定主客观权重对评价结果的影响, 其中偏好系数通常由人为确定, 具有较大的随意性。而博弈论可以寻求主客观赋权法之间在冲突中协调一致的关系, 在主客观权重之间寻求一致或妥协^[6], 即通过寻求最小化组合权重与主客观权重的偏差, 使得偏差最小, 最终实现赋权最合理化。

对于新型装甲装备通用质量特性, 根据 IGAHP 法和熵权法已经求得了评价指标的主观权重向量 η 和客观权重向量 δ , 则评价指标综合权重 ϵ 可以通过线性组合表示。

$$\epsilon = \theta_1 \eta + \theta_2 \delta \quad (11)$$

简单的说, 评价指标权重的综合就是对 2 个线性组合系数 θ_1, θ_2 进行优化, 使得综合权重 ϵ 与主观权重 η 、客观权重 δ 的偏差最小化, 即转化为解决对策模型^[6]:

$$\begin{cases} \min \|\theta_1 \eta^T + \theta_2 \delta^T - \eta^T\|_2 \\ \min \|\theta_1 \eta^T + \theta_2 \delta^T - \delta^T\|_2 \end{cases} \quad (12)$$

根据文献 [7] 中的方法, 由矩阵微分性质, 导出上式的最优化一阶倒数条件为:

$$\begin{cases} \theta_1 \eta \eta^T + \theta_2 \delta \delta^T = \eta \eta^T \\ \theta_1 \delta \eta^T + \theta_2 \delta \delta^T = \delta \delta^T \end{cases} \quad (13)$$

上式对应的线性方程组为:

$$\begin{bmatrix} \eta \eta^T & \eta \delta^T \\ \delta \eta^T & \delta \delta^T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta \eta^T \\ \delta \delta^T \end{bmatrix} \quad (14)$$

由式 (14) 可以求得线性组合系数 θ_1, θ_2 , 对其进行归一化得:

$$\theta'_1 = \frac{\theta_1}{\theta_1 + \theta_2}, \theta'_2 = \frac{\theta_2}{\theta_1 + \theta_2} \quad (15)$$

由此得出基于博弈论的新型装甲装备通用质量特性评价指标综合权重:

$$\epsilon = \theta'_1 \eta + \theta'_2 \delta \quad (16)$$

2.4 基于 Choquet 积分的指标聚合

Choquet 模糊积分是定义在模糊测度基础上的非线性函数^[8], 将新型装甲装备通用质量特性评价准则之间的相关性考

虑到评价之中, 通过引入模糊测度的概念, 用非线性加权代替传统的线性加权, 不需要强调评价指标间的独立性, 只需要符合单调性即可进行评价聚合, 使得评价更加科学合理。

1) 基本概念:

定义 1^[9]: 令集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为 n 个评价准则所构成的非空集合, 函数 g 是 X 的幂集 $F(X)$ 到 $[0, 1]$ 的映射, 若函数 g 满足以下条件, 则称 g 为模糊测度。

① 满足边界条件: $g(X) = 1, g(\varphi) = 0$;

② 满足单调性: $\forall A, B \in X$, 若 $A \subseteq B$, 则 $g(A) \leq g(B)$ 。

由上述定义可知, 对于 n 个评价准则, 需要确定 2^n 个模糊测度, 这使得计算十分繁琐, 为了解决一般模糊测度计算复杂的问题, 下面引入 λ 模糊测度的概念。

定义 2^[9]: 令 g 为定义在 $F(X)$ 上的模糊测度, 对于任意的 $A, B \in X, A \cap B \neq \varphi$, 存在 $\lambda > -1$, 满足: $g(A \cup B) = g(A) + g(B) + \lambda g(A)g(B)$, 则称 $g(A), g(B)$ 分别为关于集合 A, B 的 λ 模糊测度。

当 $\lambda = 0$ 时, 表示评价准则 A 与 B 之间相互独立; 当 $\lambda > 0$ 时, 表示评价准则 A 与 B 之间正相关; 当 $\lambda < 0$ 时, 表示评价准则 A 与 B 之间负相关。

对于评价指标集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 其中单个评价指标 x_i 所对应的 $g(x_i)$ 称为 x_i 的模糊密度函数^[10], 它表示指标 x_i 的重要程度, 记为 g_i 。对于任意 $x_i \in X$, 有:

$$g_\lambda(X) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda} \left[\prod_{i=1}^n (1 + \lambda g(x_i)) - 1 \right], \lambda \neq 0 \\ \sum_{i=1}^n g(x_i), \lambda = 0 \end{cases} \quad (17)$$

而由模糊积分定义可知, 对于任意 $\lambda > -1$, 有 $g(X) = 1$, 故由上式可得:

$$\lambda + 1 = \prod_{i=1}^n (1 + \lambda g_i) \quad (18)$$

由上式可以确定唯一的 λ 值。

定义 3^[10]: 令集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为非空集合, f 为定义在 X 上非负实数函数, g 为定义在 X 的幂集 $F(X)$ 上的 λ 模糊测度, 则函数 f 关于 g 的 Choquet 模糊积分定义为:

$$C_g(f) = \int f dg = \sum_{i=1}^n [f(x_i^*) - f(x_{i-1}^*)] g_\lambda(A_i^*) \quad (19)$$

式中, 对 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中的元素进行重新排序, 记为 $X^* = \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*\}$, 使得 $f(x_1^*) \leq f(x_2^*) \leq \dots \leq f(x_n^*)$, $A_i^* = \{x_i^*, \dots, x_n^*\}$, 且有 $f(x_0^*) = 0$ 。记 $C_g(f)$ 为 Q , 则 Q 即为综合评价值。

2) 基于 Choquet 积分的指标聚合步骤:

由于底层指标之间相互独立, 故底层指标向评价准则的聚合可通过下式进行线性加权积分:

$$q_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} \epsilon_j \quad (20)$$

对于评价准则, 考虑其关联性, 引入 Choquet 积分, 具体步骤如下。

Step1: 将第 i 个评价准则的综合权重 $\epsilon(i)$ 记为 g_i , 将 g_i 代入式 (18), 确定对应的唯一 λ 值;

Step2: 将可靠性等 6 个评价准则的评价值 q_i 按照从小到

大的顺序重新排序, 使得 $q_1^* \leq q_2^* \leq \dots \leq q_6^*$;

Step3: 将 λ 与 g_i 代入式 (17), 计算评价准则的模糊测度, 得到 $g(x_1^*)$ 、 $g(x_1^*, x_2^*)$ 、 $g(x_1^*, x_2^*, x_3^*)$ 、 $g(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*)$ 、 $g(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*)$ 与 $g(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*, x_6^*)$ 。

Step4: 将所求得各评价准则模糊测度代入式 (19) 得到综合评价值 Q 。

3 示例验证

邀请装备维修保障领域专家和数字化机步师高工各 3 名, 通过访谈方式独立地对该数字化机步师装甲团的新型装甲装备通用质量特性进行评价。

3.1 基于 IGAHP 法的指标主观权重确定

以 6 个评价准则为例, 按照 1-9 标度, 由传统的 AHP 法得到各位专家对可靠性 B_1 、维修性 B_2 、保障性 B_3 、测试性 B_4 、安全性 B_5 、环境适应性 B_6 这 6 个评价准则的两两比较判断矩阵及各专家的自相关矩阵, 由此求得各专家对 6 个评价准则的初始主观权重 W_i :

$$W_1 = (0.253\ 6, 0.220\ 4, 0.242\ 5, 0.135\ 4, 0.102\ 1, 0.046\ 0)$$

$$W_2 = (0.223\ 2, 0.227\ 0, 0.195\ 9, 0.144\ 8, 0.096\ 4, 0.112\ 8)$$

$$W_3 = (0.230\ 9, 0.163\ 3, 0.197\ 2, 0.123\ 9, 0.149\ 1, 0.135\ 7)$$

$$W_4 = (0.195\ 1, 0.177\ 6, 0.143\ 0, 0.152\ 8, 0.161\ 2, 0.170\ 2)$$

$$W_5 = (0.250\ 7, 0.178\ 2, 0.169\ 8, 0.133\ 2, 0.175\ 5, 0.092\ 7)$$

$$W_6 = (0.215\ 8, 0.166\ 3, 0.154\ 7, 0.119\ 0, 0.225\ 8, 0.118\ 4)$$

将各专家的主观权重代入式 (1) 得

$$d_{12} = 0.087\ 8, d_{13} = 0.127\ 3, d_{14} = 0.185\ 4, d_{15} = 0.121\ 0, d_{16} = 0.181\ 3, d_{23} = 0.088\ 6, d_{24} = 0.116\ 6, d_{25} = 0.103\ 0, d_{26} = 0.151\ 3, d_{34} = 0.081\ 2, d_{35} = 0.063\ 2, d_{36} = 0.090\ 8, d_{45} = 0.102\ 0, d_{46} = 0.093\ 2, d_{56} = 0.070\ 6$$

代入式 (2) 可得各专家与其他专家的相似程度, 并由式

(3) 可得各专家权重 μ_i 为:

$$\mu_1 = 0.128\ 5, \mu_2 = 0.165\ 0, \mu_3 = 0.200\ 2$$

$$\mu_4 = 0.156\ 1, \mu_5 = 0.196\ 4, \mu_6 = 0.153\ 8$$

代入式 (4) 得评价准则的主观综合权重向量为:

$$\eta = (0.227\ 4, 0.188\ 6, 0.183\ 5, 0.135\ 9, 0.148\ 1, 0.116\ 4)$$

3.2 基于熵权法的指标客观权重确定

仍以 6 个评价准则为例进行分析, 由式 (6) 可得各专家的特征比重 P_i , 代入式 (7) 得各评级准则的熵值为:

$$E_1 = 0.993\ 8, E_2 = 0.995\ 1, E_3 = 0.991\ 2$$

$$E_4 = 0.998\ 0, E_5 = 0.996\ 3, E_6 = 0.996\ 5$$

据式 (8) 求得各评价准则的差异性系数, 代入式 (9) 求得指标的客观权重向量为:

$$\delta = (0.213\ 1, 0.168\ 4, 0.302\ 4, 0.068\ 7, 0.127\ 1, 0.120\ 3)$$

3.3 基于博弈论的指标综合权重确定

将所求得的指标主客观权重代入式 (12) ~ (14), 得到

线性方程组:

$$\begin{cases} 0.174\ 9\theta_1 + 0.177\ 9\theta_2 = 0.174\ 9 \\ 0.177\ 9\theta_1 + 0.200\ 6\theta_2 = 0.200\ 6 \end{cases}$$

解得到满足条件的线性组合系数 $\theta_1 = 0.935\ 7, \theta_2 = 1.007\ 4$, 经归一化处理得 $\theta'_1 = 0.481\ 6, \theta'_2 = 0.518\ 4$, 代入式 (16) 得评价准则的综合权重:

$$\varepsilon = (0.220\ 0, 0.178\ 1, 0.245\ 1, 0.101\ 1, 0.137\ 2, 0.118\ 4)$$

同理, 可以求出基于 IGAHP-熵-博弈论的新型装甲装备通用质量特性各评价准则所下辖的各评价指标综合权重。

3.4 基于 Choquet 积分的评价值聚合

首先, 明确评价等级划分如表 1 所示。然后, 分别按照定性指标和定量指标初始评价价值确定方法确定新型装甲装备通用质量特性底层指标评价价值分别如表 2, 表 3 所示。

表 1 评价等级划分

评价等级	优	良	中	较差	差
评价值	[0.85,1]	(0.75,0.85]	(0.65,0.75]	(0.55,0.65]	[0,0.55]

表 2 新型装甲装备通用质量特性定性底层评价指标评价值

指标	1	2	3	4	5	6
B_{331}	0.87	0.89	0.86	0.90	0.87	0.82
B_{332}	0.65	0.59	0.62	0.71	0.64	0.67
B_{351}	0.56	0.69	0.61	0.69	0.63	0.60
B_{352}	0.63	0.61	0.67	0.58	0.63	0.64
B_{53}	0.89	0.91	0.85	0.83	0.87	0.80
B_{61}	0.83	0.90	0.84	0.86	0.81	0.81
B_{62}	0.81	0.82	0.79	0.84	0.82	0.77
B_{63}	0.79	0.76	0.78	0.81	0.79	0.84
B_{64}	0.91	0.89	0.92	0.93	0.89	0.91
B_{65}	0.87	0.82	0.86	0.91	0.89	0.82

表 3 新型装甲装备通用质量特性定量底层评价指标评价值

指标	评价值	指标	评价值	指标	评价值	指标	评价值
B_{111}	0.81	B_{112}	0.86	B_{113}	0.88	B_{121}	0.79
B_{122}	0.86	B_{131}	0.78	B_{132}	0.86	B_{21}	0.85
B_{22}	0.72	B_{23}	0.81	B_{24}	0.73	B_{25}	0.79
B_{26}	0.81	B_{311}	0.78	B_{312}	0.86	B_{321}	0.81
B_{322}	0.89	B_{341}	0.83	B_{342}	0.91	B_{41}	0.86
B_{42}	0.81	B_{43}	0.91	B_{44}	0.83	B_{45}	0.86
B_{51}	0.96	B_{52}	0.98				

由式 (20) 可得各评价准则的评价值:

$$q_1 = 0.833\ 8, q_2 = 0.785\ 3, q_3 = 0.783\ 1$$

$$q_4 = 0.854\ 3, q_5 = 0.945\ 5, q_6 = 0.840\ 4$$

将第 i 个评价准则的综合权重 $\varepsilon(i)$ 记为 g_i , 代入式 (18), 得到唯一对应的 λ 值: $\lambda = 0.000\ 2$ 。

将 6 个评价准则的评价值由小到大进行重排序, 使得 $q_1^* \leq q_2^* \leq \dots \leq q_6^*$, 其中:

$$q_1^* = q_3, q_2^* = q_2, q_3^* = q_1, q_4^* = q_6, q_5^* = q_4,$$

$$q_6^* = q_5$$

将 λ 与 g_i 代入式 (17), 计算各评价准则的模糊测度如下:

$$g_\lambda(x_3) = 0.245\ 1, g_\lambda(x_3, x_2) = 0.423\ 2,$$

$$g_\lambda(x_3, x_2, x_1) = 0.643\ 2, g_\lambda(x_3, x_2, x_1, x_6) = 0.761\ 6$$

$$g_{\lambda}(x_3, x_2, x_1, x_6, x_4) = 0.8628,$$

$$g_{\lambda}(x_3, x_2, x_1, x_6, x_4, x_5) = 0.9999$$

将所求的模糊测度及各评价准则的评价值代入式 (19) 得到新型装甲装备通用质量特性的综合评价值 Q 为:

$$Q = \int qdg = \sum_{i=1}^n [q_i^* - q_{i-1}^*] g_{\lambda}(A_i^*) = 0.8543$$

通过计算可知各评价准则对应的 $\lambda = 0.0002$, 大于 0, 说明各评价准则之间为正相关。而新型装甲装备通用质量特性综合评价值为 0.8543, 与实际状况基本相符, 说明该数字化步兵师新型装甲装备通用质量特性的综合水平处于优秀水平的边缘, 更趋于良好, 总体表现尚可, 但其质量特性还有一定的提升空间, 可通过采取相应措施进行改进提高。

4 结束语

针对新型装甲装备通用质量特性关联性的问题, 在建立评价指标体系的基础上, 结合新型装甲装备特点, 运用 IGAHP 法融合了专家群体权重, 实现了指标主观赋权, 并引入熵权法确定了指标客观权重, 采用博弈论的思想, 融合了指标的主客观权重, 并通过 Choquet 积分解决了通用质量特性评价准则关联性的问题, 实现了新型装甲装备通用质量特性的评价, 并通过示例验证了评价模型的可行性。新型装甲装备通用质量特性的改进研究是接下来的研究重点。

(上接第 2430 页)

使能时刹车松开、失电时刹车抱紧。因此为实现之前所述对集成刹车的独立控制, 本平台控制系统在硬件上将刹车控制线改接到 I/O 模块的同时, 在软件上利用一个控制位与刹车控制线 I/O 输出相映射关联, 以此同时实现对电机使能和刹车的独立控制。值得注意的是, 在对 Compax3 已有各个运动模块相关配置时, 需充分考虑相关控制逻辑, 确保启动时在刹车松开后电机马上运动, 而停止时电机停转后刹车能够马上刹紧, 实现刹车与电机的“联动”。

3.2 本地/远程监控

Compax3 采用主从通信模式, 伺服控制器在接收到符合其通信格式的报文后, 会立即响应其控制指令动作并进行通信回复。

本地操作时, 触摸屏选用威伦 EMT3070A, 与 Compax3 通过 CANopen 进行通信, 实现本地控制。控制界面绘制使用组态软件 EB8000, 通过将本地控制界面上组态软件参数与 Compax3 控制器的内部参数相关联, 即可实现外部对伺服控制器内部参数的输入、输出, 进而实现相应的状态显示和运动控制等功能。

远程控制时, 远程控制器采用 Compax3 通信模式中的“二进位记录”, 借组块加密与 Compax3 进行快速安全的通信。报文通过 CCITT 算法, 对所有的字符完成块加密 (CRC16), 以此确保报文的正确性, 带有块加密的二进位记录报文基本结构如下:

起始码+地址+数据长度+数据+块加密

其中, 起始码决定了数据报文的功, Compax3 由此判定报文是写入对象、读取对象或运动控制。而地址位则是为了区别不同的伺服控制器。

远程控制器以 MFC 为基础编制远程控制软件, 充分利用其固有资源, 有效降低软件开发成本^[4], 根据二进位记录报文

参考文献:

[1] 张延生, 黄考利, 连光耀. 基于改进 AHP 法的导弹装备测试性参数选择方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (2): 412-414.

[2] 刘勇, 高建华, 丁志伟. 基于改进熵权法的中原城市群城镇化水平综合评价 [J]. 河南大学学报 (自然科学版), 2011, 41 (1): 49-55.

[3] 黄建新, 边亚琴, 张胜涛. 基于 BP 神经网络的雷达装备维修质量评估研究 [J]. 航空维修与工程, 2010 (2): 88-90.

[4] 王军武, 王旭东, 王全新. 一种基于 AHP 以及欧氏距离的权重分配新途径 [J]. 华中科技大学学报 (城市科学版), 2007 (24): 26-27.

[5] 王绍玉, 孙研. 基于 AHP-Entropy 确权法的城市公众应急反应能力评价 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2011, 32 (8): 992-996.

[6] 吴叶科, 宋如顺, 陈波. 基于博弈论的综合赋权法的信息安全风险评估 [J]. 计算机工程与科学, 2001, 33 (5): 9-13.

[7] 刘国颂, 蔡春明, 聂春龙, 等. 基于博弈论组合赋权的边坡稳定性集对分析 [J]. 长江科学院院报, 2014, 31 (6): 83-88.

[8] 张磊, 樊治平, 乐琦. 基于 Choquet 积分的综合风险评估方法 [J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2010, 31 (11): 1665-1668.

[9] Marical J L. Entropy of discrete Choquet capacities [J]. European Journal of Operational Research, 2002, 137 (3): 612-624.

[10] 黄洁, 李弼程, 赵拥军. 基于 Choquet 模糊积分的目标威胁评估方法 [J]. 信息工程大学学报, 2012, 13 (1): 18-21.

结构组成串口通信报文, 与伺服控制器通信控制升降平台运动, 并每隔 50 ms 询问 Compax3 的状态, 实时获知平台所处的实际位置、是否正在动作、故障代码等运动状态。

4 试验验证

将文中设计完成的基于 Compax3 的控制系统应用到如图 1 所示的伺服升降平台中, 对平台的行程控制精度进行测试。通过现场测试可知, 在保证机械安装精度的情况下, 该伺服升降平台控制系统的位置精度可达 0.1 mm。

表 1 系统总体行程控制精度测量

设定距离/mm	0.0	50.0	100.0	150.0	200.0
实际距离/mm	0.01	50.02	100.01	150.01	200.02
总体偏差/mm	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02

5 结论

本文简要介绍了基于 Compax3 的伺服升降平台控制系统, 阐述了系统主要部分的设计实现原理和步骤。应用测试表明, 基于此控制系统的升降平台能够实现本地、远程对升降平台的运动控制和状态监控, 行程控制精度可达 0.1 mm, 人机界面友好, 并且系统运行稳定、控制功能丰富, 达到了预期的控制效果, 可用于机电一体化实践当中。

参考文献:

[1] 徐书峰, 贺春. 电动升降平台 [J]. 机械工程师, 2009 (5): 82-83.

[2] 于丹, 陈娟, 王威立, 等. 基于 Compax3 的光电跟踪伺服控制系统电气传动 [J]. 2013, 43 (6): 56-58.

[3] 王威立. 基于 Compax3 的数据融合高精度光电跟踪伺服控制系统 [D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2012.

[4] 庞宇, 孙永维, 李洋, 等. 某型飞行模拟器火控控制台设计与实现计算机测量与控制 [J]. 2012, 20 (7): 1910-1912.