

指挥防护工程选址方案评价模型

邱国庆¹,王多点^{1,2},戴婷婷^{1,3},隆雨清¹

(1. 解放军理工大学 工程兵工程学院, 南京 210007; 2. 解放军第 66081 部队, 河北 怀来 050083;
3. 中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431)
(diandian2829@163.com)

摘要:根据指挥防护工程选址复杂性的特点,建立适合指挥防护工程选址的模型。采用改进的层次分析法(AHP)初步确定评价指标的权重,并用熵值法进行修正。根据指挥防护工程选址评价指标的特点,采用GIS空间分析和专家群决策相结合的方法获取空间和非空间指标值。利用灰色关联度分析(GCA)对理想解法(TOPSIS)进行改进,避免了传统TOPSIS单独采用欧氏距离的局限性。算例证明,该评价模型能得到理想的评价结果。

关键词:指挥防护工程;选址;辅助决策;综合评价;理想解法

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Evaluation model for selection scheme of command protection engineering site

QIU Guo-qing¹, WANG Duo-dian^{1,2}, DAI Ting-ting^{1,3}, LONG Yu-qing¹

(1. Engineering Institute of Corps of Engineers, PLA University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210007, China;
2. Unit 66081 of PLA, Huailai Hebei 050083, China;
3. China Satellite Maritime Tracking and Controlling Department, Jiangyin Jiangsu 214431, China)

Abstract: The model, which is available to Command Protection Engineering (CPE) site selection, was built taking the complex characteristics into consideration. The weight of evaluation index was determined by improved Analytic Hierarchy Process (AHP), and was modified by entropy method. According to the characteristic of the evaluation index of CPE site selection, the combined method of the spatial information analysis and multi-expert group decision was adopted to achieve spatial and non-spatial index value. Grey Correlation Analysis (GCA) was used to improve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), avoided the limitation that traditional TOPSIS adopts Euclidean distance alone. This model can achieve an ideal evaluation result through an example.

Key words: Command Protective Engineering (CPE); site-selection; auxiliary decision; comprehensive evaluation; Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

指挥防护工程选址的影响因素众多,其指标值既包含精确数、区间数还包含模糊数,所以,指挥防护工程选址方案评价是一个典型的混合的多属性决策问题。而理想解法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)是一个非常有效的解决混合的多属性决策问题的算法^[1]。TOPSIS的优点是它对数据分布及样本量、指标多少无严格限制,既适用于小样本、指标不多的小系统,也适用于大样本、多指标的大系统,且数学计算亦不复杂。虽然TOPSIS作为经典的评价方法得到了广泛的应用,但是对于指挥防护工程选址方案的综合评价还是存在一定的局限性,需要进行改进。根据灰色系统的基本原理,灰色关联度利用方案数据曲线之间态势变化和曲线几何形状的相似性进行方案综合排序的方法,可以弥补TOPSIS利用欧氏距离确定贴近度进行排序存在的缺陷,所以,采用贴近度和灰色关联度相结合的方式进行优选,可以得到更加理想的评价结果。

1 方案评价模型的总体思路

首先建立指挥防护工程选址的评价指标体系。由于指挥防护工程选址的影响因素包括空间因素和非空间因素,其指标是多属性的,不能用单一的主观赋权法或者客观赋权法确定各指标的权重,所以采用改进的层次分析法和熵值法综合确定各指标的权重。空间指标因其具有距离、邻近等空间信

息的特征,而且各空间指标间都是独立的,不会互相影响,能够采用有效的数学理论和常规的GIS空间分析手段以客观、准确的数据为依据定量地去反映指标本身具体情况,所以通过GIS空间分析方法获取空间指标的指标值;对于非空间指标,因其大多是定性的而且互相影响,所以采用多专家构成的群体参与的群决策方法获取其指标值。各项指标的指标值确定后,建立决策矩阵,再利用极差变换法对决策矩阵进行规范化,最后运用灰色关联改进后的TOPSIS对方案进行选优。方案评价模型的总体思路如图1所示。

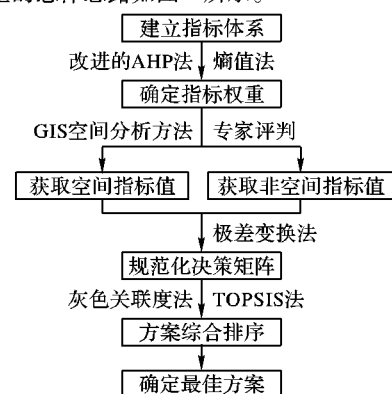


图1 方案评价模型的总体思路

收稿日期:2010-08-18;修回日期:2010-12-26。

作者简介:邱国庆(1970-),男,湖南常德人,讲师,硕士,主要研究方向:军用测绘、三维可视化;王多点(1982-),男,山东苍山人,博士研究生,主要研究方向:军事运筹、战场数字化;戴婷婷(1984-),女,安徽六安人,硕士研究生,主要研究方向:军事运筹、战场数字化。

2 指挥防护工程选址方案评价模型的建立

2.1 指挥防护工程选址方案的评价指标权重的确定方法

目前,确定指标权重的方法包括主观赋权法和客观赋权法。主观赋权是受人为主观因素所决定,客观赋权则是从指标数据内在规律确定权重的。因此,为了避免人的主观意识影响,在目前,广泛应用的是客观赋权方法^[2]。但是,由于指挥防护工程选址的样本数据较少,数据间的内在规律还没有形成,应注重专家的经验估计,以主观赋权为主,客观赋权为辅的组合赋权方法来确定指标权重。本文采用改进的层次分析法初步确定指标权重,然后通过熵权系数进行修正。

在指标赋权的过程中,尽管层次分析法技术识别问题的系统性强,可靠性相对较高,但当采用专家评判方式时,容易导致标度把握不准和丢失部分信息等问题出现,解决这些问题的有效途径就是用熵技术对用层次分析法确定的权系数进行修正。步骤如下。

1) 对构造的判断矩阵各元素 x_{ij} 按下列公式进行归一化处理,其结果表示为 p_{ij} ,即:

$$p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (1)$$

其中 m 为备选方案个数。

2) 计算第 j 项指标的熵值 e_j ,公式如下:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (2)$$

其中: $k > 0$, $\ln(\cdot)$ 为自然对数, $e_j \geq 0$ 。如果 x_{ij} 对于给定的指标全部相等,那么: $p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1/m$,此时 e_j 取最大值,即:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \ln \frac{1}{m} = k \ln m。$$

此时若取 $k = 1/\ln m$,则 $e_j = 1$,于是可以得出 $0 \leq e_j \leq 1$ 。

3) 计算第 j 项指标的差异系数 g_j 。

对于给定的 j , x_{ij} 的差异性越小,则 e_j 越大,当全部相等时, $e_j = e_{\max} = 1$,此时对于方案的评价,指标 x_{ij} 毫无作用;相反,当各方案的指标值相差越大时, e_j 越小,该项指标对于方案评价所起的作用越大。据此可以定义差异系数 g_j :

$$g_j = 1 - e_j \quad (3)$$

4) 计算第 j 项指标的信息权重系数 μ_j ,公式如下:

$$\mu_j = g_j / \sum_{j=1}^n g_j \quad (4)$$

5) 利用第 j 项指标的信息权重系数 μ_j 修正层次分析法得出的指标权重 h_j ,最后得到组合权重 w_j ,公式如下:

$$w_j = (\mu_j h_j) / \left(\sum_{j=1}^n \mu_j h_j \right) \quad (5)$$

2.2 指挥防护工程选址方案的评价指标值的获取方法

指挥防护工程选址的指标包括空间指标和非空间指标。空间指标具有距离、长短、大小和邻近等空间信息的特征,而且都是独立的,不会互相影响,所以可以采用常规的 GIS 空间分析方法获取空间指标值;对于非空间指标,因其大多是定性的而且互相影响,所以采用多专家构成的群体参与的决策方法获取其指标值。

2.3 指挥防护工程选址方案决策矩阵的规范化方法

多属性决策问题中的实数型指标值的规范化方法较多,常用的有:线性变换法、极差变换法、向量变换法、标准样本变换法和灰色关联系数法等^[4]。在指挥防护工程选址中,由于存在不同形式的指标值,为了使指标性质发生同种意义的量

的改变和质的变化,本文统一采用极差变换法对不同类型的数据进行规范化。

当指标值为精确数时,采用极差变换法规范化如下:

$$\text{若指标为效益型,则: } f_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (6)$$

$$\text{若指标为成本型,则: } f_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (7)$$

其中 f_{ij} 为规范化后的指标值, $i \in M, j \in N_1$ 。

用式(6)、(7)将各专家对应的决策矩阵转化为规范化决策矩阵 $F^k = (f_{ij}^k)_{m \times n}$ 。

在专家权重 ω 已知情况下,采用简单加权平均算子将各专家的群信息集结,得到综合决策矩阵 $F = (f_{ij})_{m \times n}$,其中:

$$f_{ij} = \sum_{k=1}^l \omega_k f_{ij}^k \quad (8)$$

因为空间指标值是通过 GIS 空间分析得到的,所以不考虑专家的权重,区间数的运算按照区间数运算规则进行,也就是 f_{ij} 为区间数时 $f_{ij} = [f_{ij}^-, f_{ij}^+]$,这样群决策问题就转化为单一型决策问题了。

此外,对空间指标值通过极差变换法规范化后,并不能完全客观地反映出它的真实状况,例如如果各个备选方案的分析结果普遍偏低,那么将结果中最大的值赋予最佳指标值 1,显然是不合乎逻辑的,因此可将空间指标的分析结果作为依据辅助专家对空间指标的状况进行评判也是一个比较现实的解决方案。

2.4 指挥防护工程选址方案的优选方法

TOPSIS 的优点是能为各决策分析方案进行比较排序,是用于科学决策的一种实用方法,其应用方便,对样本容量的大小无特殊要求,与灰关联度分析法、主成分分析法、模糊评价法等方法相比,不受参考序列选择的影响。但是, TOPSIS 还是存在一定的局限性,按欧氏距离对方案进行排序的结果有时并不能完全反映出各方案的优劣性^[5-6]。

灰色关联度利用方案数据曲线之间态势变化和曲线几何形状的相似性进行方案综合排序的方法,可以弥补 TOPSIS 利用欧氏距离确定贴近度进行排序存在的缺陷。因此,将二者结合起来反映方案逼近理想解的新尺度作为指挥防护工程选址的决策方法更加合理。计算方法如下:

1) 分别计算各备选方案与正负理想方案的灰色关联系数。

备选方案 A_i 与理想方案的第 j 个指标的灰色关联系数为:

$$r_{ij}^P = \frac{\min_{i \in M} \min_{j \in N} |z_j^P - f_{ij}| + \varepsilon \cdot \max_{i \in M} \max_{j \in N} |z_j^P - f_{ij}|}{|z_j^P - f_{ij}| + \varepsilon \cdot \max_{i \in M} \max_{j \in N} |z_j^P - f_{ij}|} \quad (9)$$

备选方案 A_i 与负理想方案的第 j 个指标的灰色关联系数为:

$$r_{ij}^N = \frac{\min_{i \in M} \min_{j \in N} |z_j^N - f_{ij}| + \varepsilon \cdot \max_{i \in M} \max_{j \in N} |z_j^N - f_{ij}|}{|z_j^N - f_{ij}| + \varepsilon \cdot \max_{i \in M} \max_{j \in N} |z_j^N - f_{ij}|} \quad (10)$$

其中: ε 为分辨系数, $\varepsilon \in [0, 1]$,引入它是为了减少极值对计算的影响。在实际使用时,应根据序列间的关联程度选择分辨系数,一般取 $\varepsilon \leq 0.5$ 最为恰当。当指标为区间型时 $f_{ij} = \frac{1}{2}(f_{ij}^- + f_{ij}^+)$ 。

2) 引进权重系数分别计算各备选方案与正负理想方案的灰色关联度。

备选方案 A_i 与理想方案的灰色关联度为:

$$R_i^P = \sum_{j \in N} w_j r_{ij}^P; i \in M \quad (11)$$

备选方案 A_i 与负理想方案的灰色关联度为:

$$R_i^N = \sum_{j \in N} w_j r_{ij}^N; i \in M \quad (12)$$

3) 分别对通过 TOPSIS 确定的距离和通过灰色关联法确定的关联度做无量纲化处理。计算公式为:

$$Q_{\text{new}} = Q_i / \max_{i \in M} (Q_i) \quad (13)$$

其中 Q_i 分别代表 $D_i^P, D_i^N, R_i^P, R_i^N$ 。

4) 将无量纲化的距离和关联度合并。

由于 D_i^N 和 R_i^P 的数值越大, 备选方案越接近理想方案; 而 D_i^P 和 R_i^N 的数值越大, 备选方案越远离理想方案。因此, 合并公式可以确定为:

$$S_i^P = \alpha_1 D_i^N + \alpha_2 R_i^P; i \in M \quad (14)$$

$$S_i^N = \alpha_1 D_i^P + \alpha_2 R_i^N; i \in M \quad (15)$$

其中: α_1, α_2 反映了决策者对距离和关联度的偏好程度, 并且满足 $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$, 决策者可以根据自己的偏好确定它们的数值; S_i^P 反映了方案与理想解方案的接近程度, 其值越大方案越优; S_i^N 则反映了方案与理想解的远离程度, 其值越大方案越差。

5) 计算备选方案的综合贴近度为:

$$C_i = S_i^P / (S_i^P + S_i^N); i \in M \quad (16)$$

6) 综合按照贴近度的大小对方案进行排序。贴近度越大方案越优, 贴近度越小方案越差, 从而可以求得最佳方案。

3 算例

根据上级指示, 拟在某市近郊建设某指挥防护工程, 该工程是某地区军事指挥控制系统中高级指挥控制中心之一, 担负着防空、战备预警、攻击判定、空间探测跟踪等战略任务。根据作战任务的需要已经确定了大的选址区域。

通过初步的勘测分析确定了四个备选方案 A_1, A_2, A_3 和 A_4 , 邀请四位专家评价各备选方案, 各专家按照相同的标度 (其中对模糊语言指标值都采用七级标度) 对各备选方案的非空间指标进行评价, 四位专家的决策权重分别为 0.35, 0.28, 0.2, 0.17。

计算步骤如下。

1) 运用层次分析法初步确定各指标的权重, 如下所示。

$$\begin{aligned} A_{11} &= 0.0288, A_{12} = 0.0769, A_{13} = 0.0769, A_{21} = 0.0958, \\ A_{22} &= 0.0380, A_{23} = 0.0480, A_{31} = 0.0189, A_{32} = 0.0134, A_{33} = \\ &0.0100, A_{34} = 0.0136, B_{11} = 0.0751, B_{12} = 0.0812, B_{13} = \\ &0.0484, B_{21} = 0.0185, B_{22} = 0.0228, B_{23} = 0.0275, B_{31} = \\ &0.0593, B_{32} = 0.0326, B_{33} = 0.0289, C_{11} = 0.0336, C_{12} = \\ &0.0280, C_{13} = 0.0236, C_{14} = 0.0181, C_{21} = 0.0190, C_{22} = \\ &0.0136, D_{11} = 0.0495. \end{aligned}$$

2) 通过熵值法修正指标权重。

运用式 (2) ~ (6) 修正层次分析法得出的指标权重, 最后得到组合权重如下所示。

$$\begin{aligned} A_{11} &= 0.0285, A_{12} = 0.0757, A_{13} = 0.0760, A_{21} = 0.0975, \\ A_{22} &= 0.0384, A_{23} = 0.0491, A_{31} = 0.0193, A_{32} = 0.0136, A_{33} = \\ &0.0102, A_{34} = 0.0136, B_{11} = 0.0754, B_{12} = 0.0819, B_{13} = \\ &0.0489, B_{21} = 0.0182, B_{22} = 0.0224, B_{23} = 0.0270, B_{31} = \\ &0.0589, B_{32} = 0.0322, B_{33} = 0.0294, C_{11} = 0.0334, C_{12} = \\ &0.0282, C_{13} = 0.0233, C_{14} = 0.0181, C_{21} = 0.0187, C_{22} = \\ &0.0134, D_{11} = 0.0486. \end{aligned}$$

3) 根据式 (7) 运用极差变换法规范化决策矩阵。

4) 运用 TOPSIS 计算各备选方案到正、负理想点的距离。

$$\begin{aligned} D_1^P &= 0.1117, D_2^P = 0.0905, D_3^P = 0.1169, D_4^P = 0.1021, \\ D_1^N &= 0.1392, D_2^N = 0.1511, D_3^N = 0.1299, D_4^N = 0.1429. \end{aligned}$$

5) 运用灰色关联度法计算各备选方案与正、负理想方案的关联度。

根据式 (9) ~ (12) 可得各备选方案到正、负理想方案的关联度为:

$$\begin{aligned} R_1^P &= 0.4572, R_2^P = 0.5217, R_3^P = 0.3496, R_4^P = 0.5413, \\ R_1^N &= 0.5014, R_2^N = 0.3215, R_3^N = 0.4929, R_4^N = 0.4132. \end{aligned}$$

6) 通过式 (13) 对各备选方案到正、负理想点的距离和各备选方案到正、负理想方案的关联度进行无量纲化处理。

$$\begin{aligned} D_1^P &= 0.9555, D_2^P = 0.7742, D_3^P = 1.0000, D_4^P = 0.8734, \\ D_1^N &= 0.9212, D_2^N = 1.0000, D_3^N = 0.8597, D_4^N = 0.9457; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_1^P &= 0.8446, R_2^P = 0.9638, R_3^P = 0.6459, R_4^P = 1.0000, \\ R_1^N &= 1.0000, R_2^N = 0.6412, R_3^N = 0.9830, R_4^N = 0.8241. \end{aligned}$$

7) 运用式 (14) 和 (15) 将无量纲化的距离和关联度合并:

$$\begin{aligned} S_1^P &= 0.2982, S_2^P = 0.3364, S_3^P = 0.2398, S_4^P = 0.3421, \\ S_1^N &= 0.3065, S_2^N = 0.2060, S_3^N = 0.3049, S_4^N = 0.2576. \end{aligned}$$

8) 运用式 (16) 计算各方案到理想点的综合贴近度得:

$$C_1 = 0.4931, C_2 = 0.6202, C_3 = 0.4402, C_4 = 0.5704.$$

从而得到各备选方案的排序为 $A_2 > A_4 > A_1 > A_3$, 方案 A_2 最优。

4 结语

本文主要针对指挥防护工程选址复杂性的特点, 研究了解决混合多属性决策问题的算法, 明确了方案评价模型的总体思路。采用改进的层次分析法初步确定各指标权重, 并用熵值法进行修正, 运用主客观相结合的赋权方法进行权重的确定, 达到了准确、客观、合理地给每个指标赋权的目的。提出了采用 GIS 空间分析和多专家构成的群体参与的群决策相结合的方法获取空间和非空间指标值, 保证了指标值的准确性。利用灰色关联度法对 TOPSIS 进行了改进, 避免了传统 TOPSIS 的局限性, 运用改进后的算法进行方案优选, 解决了混合多属性决策定量和定性不易统一规范的问题, 优化了方案评价模型。

参考文献:

- [1] 陈宝林. 最优化理论与算法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1989.
- [2] 陈琼华. 综合评价中的赋权方法 [J]. 统计与决策, 2004, 21(4): 118 - 119.
- [3] 王武平. 面向群评价的混合多属性群决策方法研究 [D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [4] 刘树林, 邱莞华. 多属性决策基础理论研究 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(1): 38 - 43.
- [5] 于洋, 李一军. 基于多策略评价的绩效指标权重确定方法研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(8): 8 - 15.
- [6] KAO C, LIU S T. Fractional programming approach to fuzzy weighted average [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 120(6): 435 - 444.
- [7] 李荣均. 模糊多准则决策理论与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [8] FAN Z P, MA J, JIANG Y P, et al. A goal programming approach to group decision making based on multiplicative preference relations and fuzzy preference relation [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174(8): 311 - 321.
- [9] GOGUS Q, BOUEHER T O. Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1998, 94(2): 133 - 144.