

doi: 10.7690/bgzdh.2013.08.013

基于直觉模糊集和 TOPSIS 法的军用道路设计方案评估模型

田成祥, 付成群, 王怀晓, 周磊

(解放军理工大学野战工程学院, 南京 210007)

摘要: 针对军用道路设计过程复杂, 所受影响因素多, 方案难以确定的问题, 提出一种基于直觉模糊集理论和 TOPSIS 相结合的军用道路设计方案评估方法。定义了直觉模糊最优解和最劣解的概念, 构建了以作战意图满足程度、免遭敌人破坏性能、技术指标满足程度以及工程投入金额为主的军用道路设计方案评估指标体系, 确立了基于直觉模糊集和 TOPSIS 法的军用道路设计方案模型, 并通过实例运用对模型进行了验证。实验结果证明, 该方法能够有效地对军用道路设计方案进行评估。

关键词: 军用道路; 道路设计; 直觉模糊集; TOPSIS 法; 方案评估

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Program Evaluation Model of Military Road Design Based on Intuitionist Fuzzy Sets and TOPSIS Law

Tian Chengxiang, Fu Chengqun, Wang Huaixiao, Zhou Lei

(College of Field Engineering, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: According to the problems of complex design process of military road together with the influence of many factors, and difficult to determine the program, herewith, proposes a new method of program evaluation of military road design based on the intuitionist fuzzy sets theory and TOPSIS. This dissertation has defined the concepts of optimal solution and the worst solution of intuitionist fuzzy, and constructed the index system of program evaluation of military road design based on the satisfaction of combat intention, sabotage performance against the enemy, satisfaction of technical indicators, and the amount of engineering effort. The author establishes the program model of military road design based on intuitionist fuzzy sets and TOPSIS law, and verified the model through practical examples. The experiment result shows that the method can evaluate military road design program effectively.

Key words: military road; road design; intuitionist fuzzy sets; TOPSIS law; program evaluation

0 引言

在军用道路的数字化设计过程中, 经过平纵横设计及工程量计算之后, 设计已基本完成, 生成了包括平面设计图、纵断面设计图、横断面设计图, 以及直角转角表、线元一览表、纵坡及竖曲线表、土石方表、兵力装备表等设计成果, 所有的设计成果组成一个道路设计方案。道路设计方案是否合理不仅关系到道路工程量的大小和施工的难易程度, 而且直接关系到道路的使用质量。

在军用道路设计方案的确定过程中, 为了确保采用的军用道路设计方案能够达到理想的效果, 必须对军用道路设计方案的可行性进行预先评估。鉴于此, 笔者提出了一种基于直觉模糊集理论和 TOPSIS 相结合的军用道路设计方案评估新方法。

1 直觉模糊集及 TOPSIS 法基本理论

1.1 直觉模糊集基本理论

直觉模糊集是保加利亚学者 Atanassov 对

Zadeh 的模糊集的拓展, 把仅考虑隶属度的传统模糊集推广到同时考虑隶属度、非隶属度和犹豫度这 3 个方面信息的直觉模糊集, 由于直觉模糊集比传统的模糊集能够更细腻地描述刻画客观世界的模糊性本质, 因此这一理论获得了广泛的应用。

定义 1 设 X 是一个非空集合, 则称 $A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle | x \in X \}$ 为直觉模糊集, 其中 $\mu_A(x)$ 、 $\nu_A(x)$ 分别为 X 中元素 x 属于 A 的隶属度和非隶属度, 即 $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$, $x \in X \rightarrow \mu_A(x) \in [0, 1]$, $\nu_A: X \rightarrow [0, 1]$, $x \in X \rightarrow \nu_A(x) \in [0, 1]$, 且满足条件 $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$, $x \in X$ 。

此外, $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$, $x \in X$ 表示 X 中元素 x 属于 A 的犹豫度或不确定度。Szmidt 和 Kacprzyk 称 $\pi_A(x)$ 为 X 中元素 x 属于 A 的直觉指标, 且 $0 \leq \pi_A(x) \leq 1$, $x \in X$ 。

定义 2 设 A_1 、 A_2 为非空有限集合 X 上的 2 个直觉模糊集, 则定义 2 个直觉模糊集之间的标准的 Euclidean 距离为:

收稿日期: 2013-03-11; 修回日期: 2013-04-10

作者简介: 田成祥(1988—), 男, 山东人, 在读研究生, 从事工程侦察、军事运筹学与系统工程研究。

$$d(A_1, A_2) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n ((\mu_{A_1}(x_j) - \mu_{A_2}(x_j))^2 + (v_{A_1}(x_j) - v_{A_2}(x_j))^2)} \quad (1)$$

其中 $d(A_1, A_2)$ 满足条件: 1) $0 \leq d(A_1, A_2) \leq 1$; 2) $d(A_1, A_2) = 0$ 当且仅当 $A_1 = A_2$; 3) $d(A_1, A_2) = d(A_2, A_1)$; 4) 若 $A_1 \subseteq A_2 \subseteq A_3, A_1, A_2, A_3 \in \phi(x)$, 则 $d(A_1, A_3) \geq d(A_1, A_2)$ 且 $d(A_1, A_3) \geq d(A_2, A_3)$ 。 $\phi(x)$ 表示为 X 上所有直觉模糊集集合。

1.2 TOPSIS 法基本理论

Topsis 法 (Technique for order preference by similarity to ideal solution) 是有限方案多目标决策分析的一种常用方法, 可用于效益评价、卫生决策和卫生事业管理等多个领域。Topsis 法对资料无特殊要求, 使用灵活简便, 应用广泛, 其基本思想是: 基于归一化后的原始数据矩阵, 采用余弦法找出有限方案中的最优方案 $Z^+ = (\max Z_{i1}, \max Z_{i2}, \dots, \max Z_{im})$ 和最劣方案 $Z^- = (\min Z_{i1}, \min Z_{i2}, \dots, \min Z_{im})$ (分别用最优向量和最劣向量表示), 然后分别计算各评价对象

与最优方案的距离 $D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\max Z_{ij} - Z_{ij})^2}$ 和最劣方案间的距离 $D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\min Z_{ij} - Z_{ij})^2}$, 获得各评价

对象与最优方案的相对接近程度 $C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$, 以

此作为评价优劣的依据。

笔者将直觉模糊集与 TOPSIS 方法相结合, 确定各个评估指标的权重后, 利用直觉模糊集构建道路设计方案的直觉模糊评价矩阵, 并把此评价矩阵作为 TOPSIS 法的原始数据矩阵, 进行归一化处理, 再运用 TOPSIS 法对各个设计方案进行评估, 并进行排序。当计算评估方案到最优方案和最劣方案之间的距离时, 笔者运用直觉模糊集之间的标准的 Euclidean 距离来计算。

2 军用道路设计方案评估指标体系的构建

军用道路设计方案指标体系是进行评估的基础, 指标体系的科学性、客观性、客观程度和全面程度将影响评估结果的准确性。军用道路数字化设计的顺利完成, 需要从选线是否符合作战意图、是否能够避开敌人破坏、是否满足技术要求、工程投入是否合理等 4 个方面考虑, 因此选线方案的评估指标体系的构建也要围绕这 4 个原则展开。

1) 符合作战意图。道路设计时, 应充分理解上级的作战意图, 分析所构建道路所承担的任务。路线应按指定的方向, 经过上级指定的各个控制点, 以满足通行的需要。若直接通过有困难, 可用支线连接, 并力求短捷, 便于机动。

对于长期使用的等级军路, 在选线时还要认真考虑平战结合, 以便在满足作战的前提下, 做到军民两用, 以促进沿线两岸国民经济的发展。

2) 力避敌人破坏。战时, 道路及道路上的机动车辆和技术兵器将是敌人破坏、打击的重要目标, 因此, 选线时应尽量满足以下要求: ① 力求隐蔽, 易于伪装。路线应尽量选在高地的反斜面及林空、林缘等天然遮碍物下, 以使路线隐蔽。② 便于疏散和对原子化学武器的防护。路线应尽量避开大的居民地、城镇及隘路、水库堤坝等在战时易遭敌人破坏造成堵塞的地段, 以便于人员车辆的疏散。③ 合理布置路线, 力求减少损失。路线与原有公路大致平行时, 应根据地形情况, 使之间隔 2~3 km, 以避免敌战术核武器袭击时, 同时破坏两条路线或路线上的运动目标; 路线跨度越大、中河流时, 桥两端除应留有便于行车, 不小于 10 m 的直线段外, 路线还不应与桥轴线连成一直线, 以避免敌机沿直线路段捕捉和破坏桥梁目标。

3) 满足技术要求。军用道路的各种技术指标, 是进行选线的基本依据, 必须严格遵循, 并尽量采用较高的技术指标; 同时, 应充分利用地形, 反复研究比较, 搞好平纵横三面配合, 力求使所选路线在平面上距离短捷、线形顺直; 在纵断面上纵坡平缓、起伏均匀; 在横断面上路基稳定、布置合理, 以保证预定的交通量。

4) 降低工程投入。构筑一条道路, 需要大量的人力、物力和财力, 且工期较长。因此, 设计时应充分考虑诸多因素, 尽量降低工程投入, 力求做到: 充分利用原有路, 尽量减少桥涵数, 避免高填和深挖, 便于就地取材筑路, 尽量少占用耕地, 避开重要建筑物。

道路设计是一项复杂的工作, 一条十全十美的路线是少有的, 而且道路设计的基本要求之间相互联系, 有些相互冲突。这就需要根据当时当地的具体情况, 全面分析, 综合比较, 权衡利弊, 趋利避害, 以满足当时环境条件的主要要求, 兼顾次要要求, 尽量合理解决好多方面的问题, 以选出一条比较理想的路线。由此建立的军用道路设计方案评估

指标体系如图 1 所示。

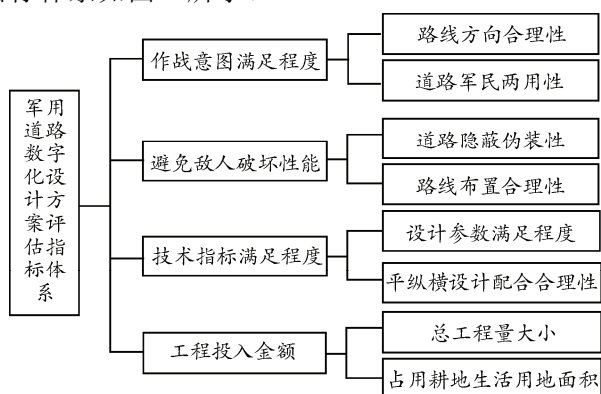


图 1 军用道路设计方案评估指标体系

3 军用道路选线方案模型

假设运用道路设计系统生成 5 个待选方案，分别为 $M = \{M_1, M_2, M_3, M_4, M_5\}$ ，笔者的目标是对这 5 个待选方案进行排序，最终确定最合适的设计方案。根据上面的分析，笔者可以确定基于直觉模糊集和 TOPSIS 法的工程兵军用道路设计方案模型构建流程如图 2 所示。

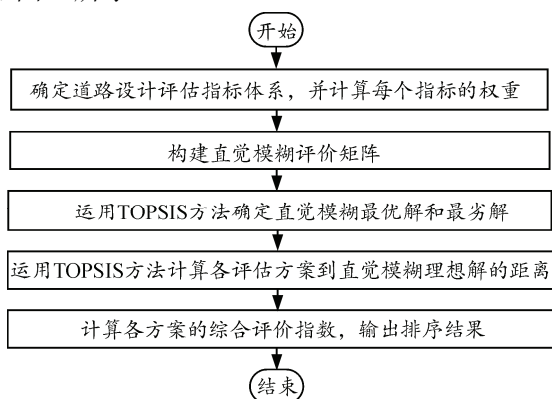


图 2 评估模型构建流程

具体操作步骤如下。

步骤 1：确定道路设计方案评估指标体系，并录入每个指标的权重。笔者选取符合作战意图、力避敌人破坏、满足技术要求、降低工程投入等 4 个方面的 8 个指标作为军用道路数字化设计方案评估指标，评估指标集可以表示为 $N = \{A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, D_1, D_2\}$ 。由于每个指标对应选线方案的重要程度不尽相同，所以在评价时的权重大小也应有所区别，笔者通过专家打分的方案确定各指标的初始权重系数，并对其进行归一化处理得到各个评估指标的权重为 $W = \{W_{A1}, W_{A2}, W_{B1}, W_{B2}, W_{C1}, W_{C2}, W_{D1}, W_{D2}\} = (0.15, 0.075, 0.1, 0.1, 0.15, 0.15, 0.2, 0.075)$ ，注意每个权重都介于(0,1)之间，所有权重之和为 1。

步骤 2：构建直觉模糊评价矩阵。针对某一多

属性决策问题，为了能够更加准确地描述各个评估方案指标所包含的模糊信息，军用道路选线评估方案 M_i 的第 j 个指标的评价值可用直觉模糊值 $\tilde{p}_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij})$ 表示，于是笔者根据实际情况，在有 5 个评估方案，8 个评估指标的情况下，可得选线评估方案集 M 的直觉模糊评价矩阵为：

$$P = \begin{pmatrix} (\mu_{11}, \nu_{11}, \pi_{11}) & (\mu_{12}, \nu_{12}, \pi_{12}) & \cdots & (\mu_{18}, \nu_{18}, \pi_{18}) \\ (\mu_{21}, \nu_{21}, \pi_{21}) & (\mu_{22}, \nu_{22}, \pi_{22}) & \cdots & (\mu_{28}, \nu_{28}, \pi_{28}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{51}, \nu_{51}, \pi_{51}) & (\mu_{52}, \nu_{52}, \pi_{52}) & \cdots & (\mu_{58}, \nu_{58}, \pi_{58}) \end{pmatrix} \quad (2)$$

步骤 3：运用 TOPSIS 方法确定直觉模糊最优解和最劣解。所谓直觉模糊集的最优解就是完全满足决策者要求的候选方案，而直觉模糊集的最劣解是指完全不满足决策者要求的候选方案，设直觉模糊最优解为 $M^+ = (m_1^+, m_2^+, m_3^+, m_4^+, m_5^+)$ ，最劣解为 $M^- = (m_1^-, m_2^-, m_3^-, m_4^-, m_5^-)$ ，其中 $m_j^+ = (1, 0, 0)$ ， $m_j^- = (0, 1, 0)$ 。

步骤 4：运用 TOPSIS 方法，根据式 (1) 计算各评估方案到直觉模糊理想解的 Euclidean 距离。

1) 如果考虑评价指标权重的情况下，方案 M_i 与直觉模糊最优解的 Euclidean 距离为

$$D_i(M_i, M^+) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n w_j [(\mu_{ij} - \mu_i^+)^2 + (\nu_{ij} - \nu_i^+)^2 + (\pi_{ij} - \pi_i^+)^2]} \quad (3)$$

2) 如果考虑评价指标权重的情况下，方案 M_i 与直觉模糊最劣解的 Euclidean 距离为

$$D_i(M_i, M^-) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n w_j [(\mu_{ij} - \mu_i^-)^2 + (\nu_{ij} - \nu_i^-)^2 + (\pi_{ij} - \pi_i^-)^2]} \quad (4)$$

步骤 5：计算各爆破评估方案的综合评价指数。计算每个爆破评估指数 $C(M_i)$ 为：

$$C(M_i) = \frac{D_i(M_i, M^-)}{D_i(M_i, M^+) + D_i(M_i, M^-)} \quad (5)$$

按照综合评价指数的大小对突发事件对设计方案进行排序， C_i 的值越大，对应的设计方案越优。

4 实例运用

运用军用道路快速勘测与辅助设计系统设计 5 个备选方案 $M = \{M_1, M_2, M_3, M_4, M_5\}$ 。现在笔者利用第 3 部分建立的方案评估模型，从作战意图满足程度、避免敌人破坏性能、技术指标满足程度和工程投入金额 4 个方面对待选方案进行综合评估。具体步骤如下。

(下转第 49 页)