

基于模糊 AHP 和 TOPSIS 的铁路选线方案研究

禹明刚,王智学,刘 正,黄 匆

(解放军理工大学 指挥信息系统学院,江苏 南京 210007)

摘要:铁路选线是铁路设计中最根本、最重要的工作,是影响全局性的总体工作,线路选线的质量将直接关系到铁路工程建设的可靠性、安全性、技术可行性和经济合理性及社会接纳性,关系到铁路和地方经济社会的发展,因而它是高速铁路建设应重视的首要问题。文中运用三角模糊语言变量,将专家意见转换成三角模糊数并构建模糊决策判断矩阵,再结合层次分析法(AHP)对判断矩阵进行模糊变换和向量计算,然后运用 TOPSIS 方法计算各方案与理想值的相对贴适度并做出决策。最后以三个方案作为实例进行了验证,进一步为铁路线路方案选择提供决策参考。

关键词:指标体系;三角模糊;层次分析法;TOPSIS

中图分类号:U212.32

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)10-0182-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.10.044

Study on Railway Path Selection Scheme Based on Fuzzy AHP and TOPSIS

YU Ming-gang, WANG Zhi-xue, LIU Zheng, HUANG Cong

(Institute of Command Automation, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: Railway location is the most fundamental and important work in railway design, which is the overall work affecting the whole. The quality of route location will directly affect the reliability, safety, technical feasibility, economic rationality and social admissibility of railway construction as well as development of railway and local economic sociality. Therefore it is the first question to be valued for railway construction. First, use the triangular fuzzy linguistic variables to transform the expert opinion to fuzzy variable and construct the fuzzy decision matrix. Then, apply the AHP to fuzzy transform and vector computing for judge matrix, the TOPSIS is used to calculate the related similarity degree between each scheme and ideal value and make decision. At the end, with the three cases as the instance to verify, provide a decision reference for railway path selection.

Key words: decision system; triangular fuzzy variable; AHP; TOPSIS

0 引言

铁路线路方案的评价及选择是铁路建设前期需要解决的重要问题。不同线路方案的选择决定一条新建铁路的综合效益。采用合理的评价指标体系以及较为理想的指标权重对新建铁路方案这一多目标进行科学评价决策,能够达到经济、社会、环境的最佳综合效益^[1-2]。

对于多目标决策问题,目前比较流行的解决方案是层次分析法(AHP)或模糊层次分析(FAHP)。文献[3]将三角模糊数引入 TOPSIS 方法但没有给出一致性检查的方法;文献[4]绕开传统模糊层次法中的一

致性检验过程,可较为合理地处理多位专家意见但因最后的决策标准过于简单可能会导致决策失误;文献[5]借助于三角模糊数良好的数学性质,并与 TOPSIS 法相结合,对客运站选址中一些难于直接定量的指标和专家意见定量化,从而对客运站选址方案作出合理的排序,但在模糊数的处理过程中没有将三角模糊数转化为清晰值,这在数据量较大时不易评判。文中运用三角模糊语言变量,将专家意见转换成三角模糊数并构建模糊决策判断矩阵,再结合 AHP 对判断矩阵进行模糊变换和向量计算,然后运用 TOPSIS 计算各方案与理想值的相对贴适度并据以做出决策。

收稿日期:2013-11-13

修回日期:2014-02-16

网络出版时间:2014-07-17

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(2007AA01Z126)

作者简介:禹明刚(1986-),男,博士研究生,研究方向为系统工程、需求工程;王智学,博士生导师,教授,研究方向为系统工程、指挥自动化理论与技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140717.1228.017.html>

1 相关概念

1.1 三角模糊数定义及相关规则

专家评价带有模糊性,三角模糊数能很好捕捉模糊性,克服了单个实数表达不完整的问题^[6-8]。

定义 1:设对实数域 R 上的一个模糊数 \tilde{p} , 定义一个隶属函数: $\tilde{u}(x):R \rightarrow [0,1], x \in R$, 若特征函数 (隶属函数) $\tilde{u}(x)$ 表示为:

$$\tilde{u}(x) = \begin{cases} 0 & x < l \\ \frac{x-l}{m-l} & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & m \leq x \leq u \\ 0 & x > u \end{cases} \quad (1)$$

则 \tilde{p} 称为三角模糊数, 记作 $\tilde{p} = (l, m, u)$ 。 $u-l$ 越大, 则模糊程度越强。

定义 2:由三角模糊数构成的矩阵称为三角模糊矩阵。

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \tilde{a}_{13} & \tilde{a}_{14} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \tilde{a}_{23} & \tilde{a}_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{m1} & \tilde{a}_{m2} & \tilde{a}_{m3} & \tilde{a}_{m4} \end{bmatrix}$$

\tilde{A} 中只要有一个元素为三角模糊数就是三角模糊矩阵。 \tilde{A} 通常由模糊数与清晰数组成。

定义 3:有判断矩阵 $\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times m}$, 则 $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}^l, a_{ij}^m, a_{ij}^u)$, $\tilde{a}_{ji} = (a_{ji}^l, a_{ji}^m, a_{ji}^u)$ 均为三角模糊数, 并且如果有 $a_{ii}^l = a_{ii}^m = a_{ii}^u = 0.5, \forall i \in N$, 并且, $a_{ij}^l + a_{ji}^u = 1, a_{ij}^m + a_{ji}^m = 1, a_{ij}^u + a_{ji}^l = 1, \forall i, j \in N$, 则称判断矩阵 \tilde{A} 为三角模糊判断矩阵。

1.2 TOPSIS 分析法的评价原理

经典 TOPSIS 法借助多属性问题的正理想解和负理想解对方案集中的各方案进行排序^[9-10]。正理想解是方案集中并不存在的虚拟的最佳方案;负理想解则是虚拟的最差方案。将方案集中的各备选方案与正理想解和负理想解的距离进行比较,靠近正理想解又远离负理想解的方案是方案集中的最佳方案。

设最后的加权判断矩阵为 $T = RW = (f_{ij})_{m \times n}$, 其中 $f_{ij} = r_{ij} \cdot w_{jj}$ 。则正理想值为:

$$f_j^* = \begin{cases} \max(f_{ij}), j \in J^* \\ \min(f_{ij}), j \in J^* \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中, J^* 为效益型指标。

各目标值与理想值之间的欧氏距离为:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (f_{ij} - f_j^*)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$S_i' = \sqrt{\sum_{j=1}^n (f_{ij} - f_j')^2} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

由欧氏距离计算各个目标的相对贴近度:

$$C_i^* = \frac{S_i'}{S_i^* + S_i'} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

依照相对贴近度对目标排序形成决策依据。

1.3 AHP 指标量化和 TOPSIS 方法的方案决策模型

决策模型是借助三角模糊数和模糊层次法来量化各项指标并用 TOPSIS 作出决策的过程^[11]。文中的具体决策步骤如下:

Step1:构建模糊判断矩阵。设置专家评价表,利用语言变量比较各项因素对应的指标,确定相对重要程度。假定某一层有 n 项指标,将生成 $n \times n$ 的矩阵:

$$W^t = (\tilde{W}_{ij}^t)_{n \times n}$$

其中, $\tilde{W}_{ij}^t = (\tilde{W}_{ij}^{t'}, \tilde{W}_{ij}^{t''), \tilde{W}_{ij}^{t'''})$ 。

Step2:集结专家评价信息。假设有 T 位专家,则集结专家评价信息后的矩阵为:

$$\tilde{A} = \frac{1}{T} \otimes (\tilde{W}_{ij}^1 \oplus \tilde{W}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{W}_{ij}^T) = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n} \quad (5)$$

其中, $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}^l, a_{ij}^m, a_{ij}^u)$ 。

Step3:计算综合重要程度值。变换三角模糊判断矩阵,并利用式(6)计算各层指标的三角模糊向量集合 S 。

$$S = S_i, i = 1, 2, \dots, n$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = \left[\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^l}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^l}, \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^m}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^m}, \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^u}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^u} \right] \quad (6)$$

Step4:比较各指标重要程度 $V(S_i > S_j)$, 去模糊化。

$$V(S_i > S_j) = \begin{cases} 1 & m_i \geq m_j \\ \frac{l_j - u_i}{(m_i - u_i) - (m_j - l_j)} & m_i \leq m_j, u_i \geq l_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

单层指标的权重取比较结果的最小值:

$$d_p(x_i) = \min V(S_i > S_1, S_2, \dots, S_n), i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Step5:归一化,计算单层指标权重的最终值。

$$\omega_{ip} = \frac{d_p(x_i)}{\sum_{i=1}^n d_p(x_i)}, i = 1, 2, \dots, n \tag{8}$$

其中, p 为评价体系的层标识。

Step6: 将上一层指标权重与下层相应指标权重累积, 得到全部 n 个指标权重向量 $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。

Step7: 获取指标评价值。评价值包括定性评价值和定量评价值, 对定性评价值的处理包括对专家数据的集结、去模糊化、归一化处理; 对定量指标的处理首先去量纲化再和定性指标一样去模糊化、归一化。

对专家数据的集结:

$$\tilde{R} = \frac{1}{T} \otimes (\tilde{R}_{ij}^1 \oplus \tilde{R}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{R}_{ij}^T) = (\tilde{r}_{ij})_{m \times n} \tag{9}$$

对 $\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^l, r_{ij}^m, r_{ij}^u)$ 去模糊化:

$$r_{ij} = \frac{r_{ij}^l + 2r_{ij}^m + r_{ij}^u}{4} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

归一化:

$$r_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m r_{kj}}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \tag{10}$$

去量纲化:

$$\tilde{r}_{ij} = \begin{cases} (\frac{r_{ij}^l}{r_j^*}, \frac{r_{ij}^m}{r_j^*}, \frac{r_{ij}^u}{r_j^*}) & j \in B \quad r_j^* = \max r_{ij}^u \\ (\frac{r_{ij}^0}{r_j^l}, \frac{r_{ij}^0}{r_j^m}, \frac{r_{ij}^0}{r_j^u}) & j \in C \quad r_j^0 = \min r_{ij}^l \end{cases} \tag{11}$$

Step8: 最后形成的加权判断矩阵为 $\mathbf{T} = \mathbf{R}\mathbf{W} = (f_{ij})_{m \times n}$, 其中 $f_{ij} = r_{ij} \cdot w_{ij}$ 。根据判断矩阵 \mathbf{T} 获取评估目标的正负理想值, 运用 TOPSIS 计算各方案目标的贴近度并完成方案决策。

2 案例分析

2.1 新建铁路线路选择评价递阶层次结构

新建铁路的线路选择更是要考虑多种复杂因素, 如社会政治经济意义、技术可行性、经济合理性、对环境的影响等。

结合铁路建设的实际情况, 并参阅文献[12-14], 建立图 1 所示的新建铁路线路选择评价递阶层次结构。

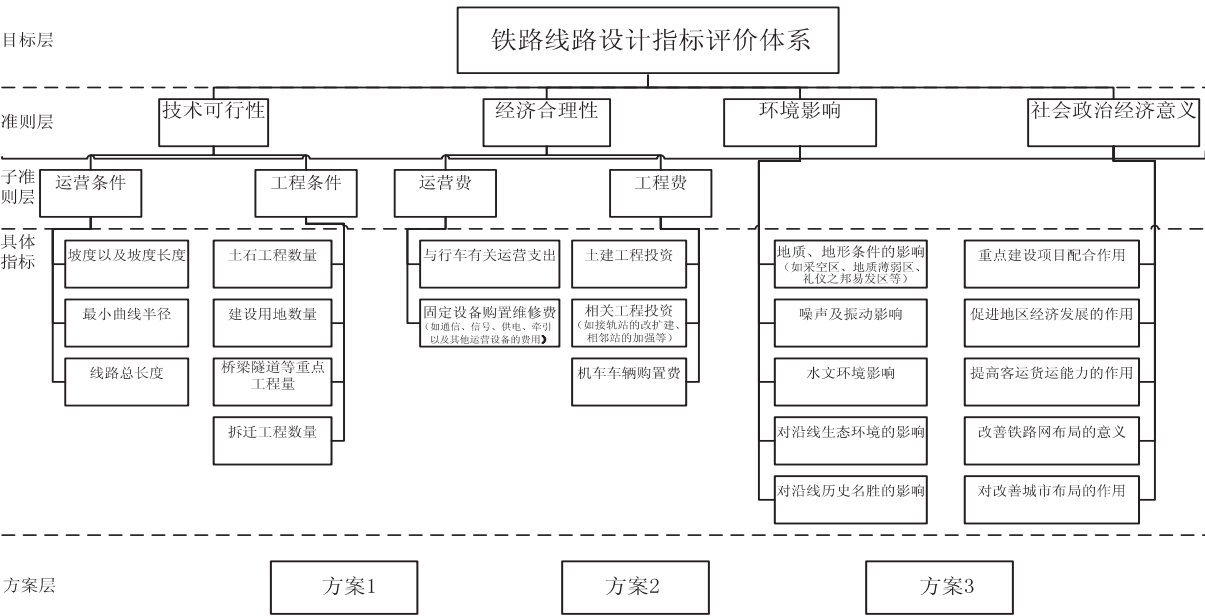


图 1 新建铁路线路选择评价递阶层次结构

2.2 模型求解

(1) 以第一层即准则层为例, 结合表 1 根据专家给出的原始数据可以得出原始三角模糊矩阵。

表 1 语言变量与其对应的三角模糊值

语言变量	三角模糊值	语言变量	三角模糊值
b 比 a 极重要	(0.1, 0.2, 0.3)	a 比 b 稍微重要	(0.5, 0.6, 0.7)
b 比 a 重要	(0.2, 0.3, 0.4)	a 比 b 重要	(0.6, 0.7, 0.8)
b 比 a 稍微重要	(0.3, 0.4, 0.5)	a 比 b 极重要	(0.7, 0.8, 0.9)
b 与 a 同等重要	(0.5, 0.5, 0.5)		

(2) 分别对定性、定量指标进行数据集结、去量纲化、去模糊化、归一化得各指标的评价值矩阵。

(3) 形成加权判断矩阵。

经集结专家评价信息, 计算综合重要程度值, 与相应的指标权重累积, 并以此迭代累积最终得到全部 24 个指标权重向量 $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。

根据 $\mathbf{T} = \mathbf{R}\mathbf{W} = (f_{ij})_{m \times n}$ 形成加权判断矩阵, 如表 2 所示。

根据加权判断矩阵获取评估目标的正负理想值, 运用 TOPSIS 计算各方案目标的贴近度, 并最终完成方

案决策。

线路选择中的应用[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版,2011,24(2):56-60.

表 2 加权判断矩阵

	u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{21}	u_{22}	u_{23}
P_1	0.023	0.005	0.054	0.015	0.020	0.045
P_2	0.023	0.005	0.053	0.015	0.02	0.05
P_3	0.025	0.005	0.051	0.015	0.020	0.035

各方案的正负理想值及相对贴近度如表 3 所示。

表 3 各方案的欧氏距离及贴近度

方案	S^*	S'	C^*
1	0.119	0.161	0.575
2	0.123	0.174	0.586 8
3	0.114 5	0.163 0	0.587 4

3 结束语

基于三角模糊数和 AHP 并结合 TOPSIS 法建立了一种铁路路线方案评价方法。采用调查问卷获得指标权重和指标评价值的三角模糊数据,对给出的实例进行了验证,结果显示该方法具有较好的适用性和操作性。

参考文献:

[1] 孙荣霞,王松江. 关于城市基础设施项目融资结构框架的研究[J]. 经济经纬,2009(2):75-78.

[2] 郑健. 我国铁路客站规划与建设[J]. 铁道经济研究,2007(4):20-30.

[3] 向隅. 基于三角模糊数的 TOPSIS 评价方法在新建铁路

[4] 李香花,王孟钧. 基于三角模糊 AHP 的项目融资决策模型[J]. 计算机工程与应用,2012,48(11):243-248.

[5] 廖勇. 基于三角模糊数的铁路客运站选址方案评价方法[J]. 中国铁道科学,2009,30(6):119-125.

[6] Bryson N, Joseph A. Generating consensus priority interval vectors for group decision making in the AHP[J]. Journal of Multi-criteria Decision Analysis,2000,9(4):127-137.

[7] Buckley J J,Fearing T,Hayashi Y. Fuzzy hierarchical analysis revisited [J]. European Journal of Operational Research,2001,129(1):48-64.

[8] 张堃,周德云. 嫡权与群组 AHP 相结合的 TOPSIS 法多目标威胁评估[J]. 系统仿真学报,2008,20(7):1661-1664.

[9] Ashtiani B,Haghighirad F,Makui A,et al. Extension of fuzzy TOPSIS method based on interval-valued fuzzy sets [J]. Applied Soft Computing,2009,9(2):457-461.

[10] 周小川. 模糊层次分析法和灰色关联度在铁路方案决策中的应用[D]. 成都:西南交通大学,2011.

[11] Shih H S. Incremental analysis for MCDM with an application to group TOPSIS [J]. European Journal of Operational Research,2008,186(2):720-734.

[12] 客运专线施工组织设计[EB/OL]. 2008. [http://www. jian-she99. com](http://www.jian-she99.com).

[13] 新建铁路长昆线可行性研究[M]. 出版地不详:中铁二院工程集团有限责任公司,2009.

[14] 石云峰. 吉林省靖宇县地方铁路方案比选[J]. 路基工程,2002(4):21-22.

(上接第 181 页)

与评测[J]. 计算机技术与发展,2012,22(7):5-8.

[5] Jones A S. A dynamic parallel data-computing environment for cross-sensor satellite data merger and scientific analysis[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2002, 19(9):1307-1317.

[6] Sakurai T,Shibagaki T,Shinobori T,et al. An automatic programming system based on modular integrated concept architecture[C]//Proc of IECON90. California, USA:Industrial Electronics Society,1990:1303-1308.

[7] 黄永勤,金利峰,刘耀. 高性能计算机的可靠性技术现状与趋势[J]. 计算机研究与发展,2010,47(4):589-594.

[8] Pratt S,Hegar D. Workload-dependent performance evaluation of the Linux 2.6 I/O schedulers[C]//Proc of the Ottawa Linux symposium. Ottawa:[s. n.],2005:425-448.

[9] 王勇超,张璟,王新卫,等. 基于 MPICH2 的高性能计算集群系统研究[J]. 计算机技术与发展,2008,18(9):101-104.

[10] 王彬,周斌,魏敏. 气象计算网格模式预报系统的建立与优化[J]. 计算机应用研究,2010,27(11):4182-4184.

[11] 李海荣,方中纯. 应用 MPICH 并行化图像处理算法[J]. 计算机技术与发展,2013,23(7):101-103.

[12] 宗翔,王彬. 国家级气象高性能计算机管理与应用网络平台设计[J]. 应用气象学报,2006,17(5):629-634.

[13] 姜游,陈军,黄骏. 高性能计算机在地震资料处理中的应用[J]. 计算机工程与科学,2009,31(A01):328-330.

[14] 王志斌,万玉发,沃伟峰. 天气雷达组网拼图并行处理方法研究[J]. 计算机技术与发展,2013,23(7):187-190.

[15] 胡萍,陈志鹏. 基于线程池的高性能服务器软件的设计和实现[J]. 计算机技术与发展,2006,16(8):49-50.

基于模糊AHP和TOPSIS的铁路选线方案研究

作者：[禹明刚](#)，[王智学](#)，[刘正](#)，[黄匆](#)，[YU Ming-gang](#)，[WANG Zhi-xue](#)，[LIU Zheng](#)，[HUANG Cong](#)
作者单位：[解放军理工大学 指挥信息系统学院, 江苏 南京, 210007](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2014(10)

引用本文格式：[禹明刚](#). [王智学](#). [刘正](#). [黄匆](#). [YU Ming-gang](#). [WANG Zhi-xue](#). [LIU Zheng](#). [HUANG Cong](#) [基于模糊AHP和TOPSIS的铁路选线方案研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2014(10)