

基于离差最大化的公路网灰关联投影评价模型

李晓伟¹, 陈红², 王肇飞¹, 马娟²

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 长安大学公路学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:考虑到公路网规划方案评价涉及到技术—经济—社会—环境等不同子系统和不同层面的多个指标, 针对其评价指标繁多, 不少单项因子不相容的问题, 提出了一种基于离差最大化的公路网灰关联投影评价模型. 该模型以评价指标为因素指标集、以规划方案为论域集构建了公路网规划方案矩阵, 应用 $[0, 1]$ 线性变换将其标准化; 借鉴TOPSIS思想将理想方案作为规划方案的参考点, 应用灰关联分析法将理想方案和规划方案分别作为参考数列和被比较数列构建了正负关联系数矩阵; 为了克服人为主观因素的影响, 采用离差最大化法确定评价指标权重, 并构建了增广加权关联系数矩阵及灰关联投影评价模型. 研究表明: 该模型能够充分发挥灰关联分析与投影决策的优势, 避免指标权重确定的主观性, 并且在实践中简洁易行, 能够为公路网规划提供科学合理的决策依据.

关键词:交通工程; 公路; 离差最大化; 投影; 评价

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2012)05-0679-06

公路网规划评价是多层次、多目标的复杂系统, 影响范围极其广泛, 应当从技术、经济、社会以及环境多方面进行定量、定性分析, 度量不同方案的相对价值, 为公路网规划方案的比选和优化提供科学依据^[1]. 目前, 国内外学者对公路网规划方案评价进行了大量的研究^[1-6], 提出了主成分分析法、AHP、二级模糊综合评级法、DEA等有效的公路网规划评价方法. 如吴涛^[1]从公路网性能、运行质量、经济效益、社会影响等方面选择连通度、拥挤度等指标结合AHP构建了二级模糊综合评判模型; 聂伟^[3]等综合了DEA和灰色关联分析两种方法的优点, 以灰色关联分析为中心模型, 提出了一种基于数据包络分析(DEA)和灰色关联分析的区域公路网评价方法对我国部分省区公路网进行比较评价.

为充分利用有限的资金和资源建设、优化公路网, 为客货运输提供优质的服务, 公路网规划方案评价必然涉及到技术、经济、社会、环境等不同子系统和不同层面的多个指标, 其评价过程必然也是一个典型的半结构化、多层次、多目标的群决策问题, 因而导致公路网规划评价指标体系庞大、评价过程繁杂, 故此需要在目前评价方法的基础上进一步对评价方法进行研究, 确定与这种复杂系统与多指标体系相适宜的评价理论与评价方法.

由于公路网规划方案的评价指标繁多, 且有不少单项因子评价结果之间并不相容, 是一个典型的灰色系统, 因此通过分析灰色系统中各因素间关联程度可以较好地了解各规划方案与最优方案的相似程度, 但是容易忽视两者之间的绝对误差, 在某些情况下甚至会让决策者做出错误的判断. 针对灰色关联度的缺陷, 本文将投影决策法引入公路网规划方案评价, 从规划方案与理想方案之间的相对误差和绝对误差两个方面进行比较, 能够克服灰色关联分析的不足; 同时由于灰关联投影决策法多用于科研项目风险^[7]、水资源调配^[8]、房地产投资决策等方面^[9], 而在公路网规划方案评价中应用较少, 此次应用于西安市公路网规划方案评价决策, 希望可拓展其应用范围, 为公路网规划方案决策分析提供一种新的数学方法.

1 评价模型构建^[10-11]

1.1 构建标准化决策矩阵及确定理想方案

定义1: 设 n 个待选的公路网规划方案记为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, m 个评价指标记为 $G = \{G_1, G_2,$

收稿日期: 2012-02-27 修改稿日期: 2012-10-10

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(CHD2011ZY006)

作者简介: 李晓伟(1985-), 男, 河南信阳人, 博士, 讲师, 主要从事交通系统规划、设计.

$\dots, G_m\}, N = \{1, 2, 3, \dots, n\}, M = \{1, 2, 3, \dots, m\}, i \in N, j \in M$, 设 y_{ij} 为方案 A_i 对决策指标 G_j 的属性值, 则 $Y = (y_{ij})_{n \times m}$ 表示方案集 A_i 对指标 G_j 的决策矩阵, 可表示为:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

考虑到评价指标的含义和计算方法不同, 量纲各异, 应先对其进行标准化处理, 本文采用 $[0, 1]$ 线性变换对决策矩阵进行标准化处理.

定义 2: 令

$$\begin{cases} r_{ij} = \frac{\max(y_j) - y_{ij}}{\max(y_j) - \min(y_j)}, G_j \in I_1 \\ r_{ij} = \frac{y_{ij} - \min(y_j)}{\max(y_j) - \min(y_j)}, G_j \in I_2 \end{cases} \quad (2)$$

式中: I_1 为效益型指标; I_2 为成本型指标.

则标准化处理后的决策矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

由于原始决策矩阵经过 $[0, 1]$ 线性变换后各项评价指标的最大值均为 1, 因此根据 TOPSIS 思想, 设 $r_j^* = \max\{r_{ij} \mid 1 \leq i \leq n\}$, 则理想方案 $A^* = \{r_1^*, r_2^*, \dots, r_m^*\} = \{1, 1, \dots, 1\}$.

1.2 基于离差最大化确定指标权重

离差最大化方法确定权重的原理是^[12]: 若所有规划方案 A_i 在评价指标 G_j 下的属性值差异越小, 则说明该属性值对评价对象与排序所起的作用越小; 反之, 则说明其对评价对象与排序将起重要作用. 因此, 从对评价对象进行排序的角度考虑, 评价对象属性值偏差越大的属性应该赋予越大的权重. 特别地, 若所有规划方案 A_i 在评价指标 G_j 下的属性值无差异, 则评价指标 G_j 对评价对象排序将不起作用, 可命其权重为 0.

假设规划方案评价指标 G_j 权重为 $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, $w_j \geq 0, j \in M$, 设 $V_{ij}(w)$ 表示规划方案 A_i 与其他所有规划方案关于评价指标 G_j 之间的离差, 则可定义:

$$V_{ij}(w) = \sum_{j=1}^m r_{ij}w_j - r_{kj}w_j, i \in N, j \in M$$

$$\text{令} \quad V_j(w) = \sum_{i=1}^n V_{ij}(w) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|$$

则 $V_j(w)$ 表示对评价指标 G_j 而言所有方案与其他方案的总离差. 根据上述分析, 加权向量 w 的选择应使所有属性对所有方案的总离差最大; 为此, 构造如下最优化模型:

$$\begin{cases} \max V(w) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}| w_j \\ s. t. w_j \geq 0, j \in M, \sum_{j=1}^m w_j^2 = 1 \end{cases}$$

解此最优化模型, 应用拉格朗日最小二乘法得最优解为:

$$w_j^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|)^2}} \quad j \in M \quad (4)$$

由于传统的加权向量一般满足于归一化约束条件而不是单位化约束条件,因此在得到单位化权重向量 w_j^* 之后,还可以对其进行归一化处理,由此得到:

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|} \quad j \in M \quad (5)$$

1.3 构建关联系数矩阵及增广关联系数矩阵

根据灰色系统理论,应用灰色关联分析^[11]将理想方案 A^* 作为参考数列,将方案 A_i 作为被参考数列,构建 A_i 与理想方案关于决策指标 G_j 的关联系数矩阵.

定义 3: 设

$$\xi_{ij}^+ = \frac{\min_i \min_j |r_{ij} - r_j^*| + \rho \max_i \max_j |r_{ij} - r_j^*|}{|r_{ij} - r_j^*| + \rho \max_i \max_j |r_{ij} - r_j^*|}$$

式中: ρ 为分辨系数, $\rho \in [0, 1]$, 一般取 $\rho = 0.5$. 则关联系数矩阵可表示为:

$$\xi = (\xi_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} & \cdots & \xi_{1m} \\ \xi_{21} & \xi_{22} & \cdots & \xi_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \xi_{n1} & \xi_{n2} & \cdots & \xi_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

设加权向量 $W = [W_1, W_2, \dots, W_m]^T$, 由于 $\sum_{j=1}^m W_j^2 = 1$, 则 $W_j = \sqrt{w_j}$. 故在加权向量 W 的作用下, 构造增广型加权关联系数矩阵 $Z = (Z_{ij})_{m \times n}$:

$$Z = \begin{bmatrix} W_1 \xi_{11} & W_1 \xi_{12} & \cdots & W_1 \xi_{1m} \\ W_2 \xi_{21} & W_2 \xi_{22} & \cdots & W_2 \xi_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_n \xi_{n1} & W_n \xi_{n2} & \cdots & W_n \xi_{nm} \end{bmatrix} \quad (7)$$

1.4 构建投影决策模型并明确评价步骤

定义 4: 记一组新的评价指标权值矢量, 称其为灰色关联投影权值矢量, 且满足下式^[13]:

$$\sigma_j = \frac{w_j^2}{\sqrt{\sum_{j=1}^m w_j^2}} \quad (8)$$

若规划方案 A_i 在理想方案 A^* 上的投影为 D_i , 则有:

$$D_i = \sum_{j=1}^m \xi_{ij} \sigma_j = \sum_{j=1}^m \xi_{ij} w_j^2 / \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j^2} \quad (9)$$

评价步骤:

第一步: 基于已知的公路网规划决策集合 A_i 和指标集合 G_j , 分别根据公式(1)、(2)、(3) 构建规划方案评价决策矩阵和标准化决策矩阵;

第二步: 基于离差最大化原理, 根据公式(4) 确定评价指标权重 w_j^* , 然后根据公式(5) 确定归一化处理后的评价指标权重 w_j ;

第三步: 将理想方案 A^* 作为参考数列, 将方案 A_i 作为被参考数列, 基于公式(6) 构建 A_i 与理想方案关于决策指标 G_j 的关联系数矩阵;

第四步: 根据公式(8) 计算灰色关联投影权值矢量, 并根据公式(9) 计算规划方案在理想方案上的灰色关联投影值 D_i .

第五步: 根据各个投影值的大小, 对每个决策方案做出科学的评价. 投影值越大, 说明该规划方案与理想方案越接近, 该方案就越优.

2 实证研究

本文以西安市农村公路网规划方案为研究对象,针对西安市公路交通发展的突出问题与主要矛盾,从质量型、结构型、数量型等三个维度选取网技术等级 G_1 、网连通度 G_2 、网面积密度 G_3 (km/km^2)、网铺面率 G_4 (%)、网晴雨通车率 G_5 (%)、网通村率 G_6 (%)等指标对公路网规划方案进行评价。经调查与计算,三方案评价指标属性值如下表所示。

STEP1 根据定义1构建原始决策矩阵:

$$Y = \begin{bmatrix} 2.75 & 2.1 & 140 & 74 & 94 & 98 \\ 2.97 & 2.5 & 129 & 68 & 96 & 100 \\ 3.2 & 2.2 & 157 & 65 & 97 & 96 \\ 3.25 & 2.6 & 138 & 70 & 92 & 90 \end{bmatrix}$$

STEP2 根据定义2构建标准化决策矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.393 & 1 & 0.4 & 0.8 \\ 0.44 & 0.8 & 0 & 0.333 & 0.8 & 1 \\ 0.9 & 0.2 & 1 & 0 & 1 & 0.6 \\ 1 & 1 & 0.321 & 0.555 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

STEP3 根据公式(5)确定指标权重:

$$w = (0.175\ 85, 0.182\ 97, 0.156\ 10, 0.149\ 65, 0.172\ 80, 0.162\ 64)$$

STEP4 根据定义3构建关联系数矩阵:

$$\xi = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.33 & 0.45 & 1 & 0.45 & 0.71 \\ 0.47 & 0.71 & 0.33 & 0.43 & 0.71 & 1 \\ 0.83 & 0.38 & 1 & 0.33 & 1 & 0.56 \\ 1 & 1 & 0.42 & 0.53 & 0.33 & 0.33 \end{bmatrix}$$

STEP5 根据定义4计算投影值

$$D_1 = 0.159\ 0; D_2 = 0.239\ 9; D_3 = 0.255\ 6; D_4 = 0.206\ 9.$$

由此可见: $D_3 > D_2 > D_4 > D_1$,方案3最优。

为验证模型的科学与可靠性,本文分别针对模型和权重差异采用二级模糊综合评判模型^[1]和基于熵值法的灰关联投影模型^[8]对本文提出的模型进行验证,所得结果为仍为 $D_3 > D_2 > D_4 > D_1$,即规划方案3为最佳方案,由此可见本文的方法与文献[1],[8]中方法取得了较为一致的评价结果;另外,西安在“十一五”时期农村公路网取得了显著成绩,但是仍然存在公路网等级不高,尤其是二级及其以上公路偏低等状况,因此“十二五”时期提高公路网等级水平符合西安农村公路网发展实际;此外,在西咸一体化及其关中天水经济区建设背景下,“十二五”时期仍然是西安市公路建设的主要时期,路网密度将会大幅度提高,因此从西安市农村公路网规划的实际和面临的突出矛盾出发进行分析,方案三仍为最佳方案更为符合西安“十二五”时期的发展实际,进一步说明了本文提出模型的科学与合理性。

3 结 语

考虑到公路网规划方案评价涉及到技术—经济—社会—环境等不同子系统和不同层面的多个指标,针对其评价指标繁多,不少单项因子不相容的问题,本文提出了一种基于离差最大化的公路网规划方案灰关联投影评价模型。该模型理论简洁,方法简便,可操作性好,避免了只将各方案的单个因素指标值进行比较而引起的偏离,从而全面地分析了指标间的相互关系,反映了整个因素指标空间的影响。同时,采用了基于离差最大化确定权重的方法,克服了人为主观因素的影响,使规划方案的选择更加客观公正合理,准确性得到进一步提高。最后,本文为验证该模型的科学与合理性,分别采用二级模糊综合评判模型和基于熵值法的投影决策模型对公路网规划方案实例进行评价,取得了较为一致的评价结果;同时,结合西安农村公路网现存的突出矛盾和主要问题,分析了最优方案与西安市“十二五”时期公路交

表1 规划方案评价指标属性值

Tab.1 Value of evaluation indexes about schemes

A_i	G_j					
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6
A_1	2.75	2.1	140	74	94	98
A_2	2.97	2.5	129	68	96	100
A_3	3.2	2.2	157	65	97	96
A_4	3.25	2.6	138	70	92	90

通发展的契合性,结果表明最优方案更加符合西安市“十二五”时期公路交通的发展实际,进一步说明了该模型的科学性与合理性,为公路网规划方案的选择提供了一种新的评价方法。

参考文献 References

- [1] 吴涛,瞿尔仁,陈志忠,等.公路网规划方案综合评价方法[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2002,25(3):389-393.
WU Tao, QU Er-ren, CHEN Zhi-zhong, et al. Method for comprehensive evaluation of highway network planning [J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2002, 25(3):389-393.
- [2] 陈红,颜英秋,周伟.公路网规划方案综合评价方法及应用[J].系统工程理论与实践,1999(6):107-115.
CHEN Hong, YAN Ying-qiu, ZHOU Wei. The Comprehensive Evaluating Method of Highway Network Programming Schemes and Its Application[J]. System Engineering-Theory & Practice, 1999(6):107-115.
- [3] 聂伟,邵春福,杨励雅,等.基于DEA和灰色关联分析的区域公路网综合评价方法[J].交通运输系统工程与信息,2007,7(4):96-100.
NIE Wei, SHAO Chun-fu, YANG Li-ya, et al. A Method of Regional Road Network Evaluation Based on DEA and Gray Correlation Analysis[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(4):96-100.
- [4] 彭力.公路网规划评价指标体系与实施决策方法研究[D].南京:东南大学,2005.
PENG Li. Study on the Evaluated Indices System and the Methods of Implement Decision-making of the Road Network Plan[D]. Nanjing: Southeast University, 2005.
- [5] 王丽.公路网规划综合评价的改进模型及其应用研究[D].南京:河海大学,2006.
WANG Li. Research on Improved Models Application of Highway Network Planning Comprehensive Evaluation [D]. Nanjing: Hohai University, 2006.
- [6] 林忠.公路网规划综合评价方法及关键技术研究[D].淄博:山东理工大学,2007.
LIN Zhong. Study on Comprehensive Evaluation Method and Critical Technology for Road Network Planning[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2007.
- [7] 韩晓,何明,李金林,等.基于灰色关联度的科研项目风险评价方法[J].北京理工大学学报,2002,22(6):778-781.
HAN Xiao, HE Ming, LI Jin-lin, et al. Method of Evaluation for Risks in Research Projects Based on Grey Relevancy[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2002, 22(6):778-781.
- [8] 袁伟,郭宗楼,楼章华.黑河流域水资源调配评价的投影决策分析方法[J].浙江大学学报:工学版,2007,41(1):76-82.
YUAN Wei, GUO Zong-lou, LOU Zhang-hua. Project decision method for evaluating water resources dispatch and allocation in Heihe River basin[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2007, 41(1):76-82.
- [9] 冯卫,赵刚,邝飞飞,等.多目标决策灰色关联投影法在房地产投资决策中的应用[J].华北水利水电学院学报,2008,29(3):91-94.
FENG Wei, ZHAO Gang, KUANG Fei-fei, et al. Application of Multi-criteria Decision Grey Relation Projection Method to Real Estate Investment Decision[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2008, 29(3):91-94.
- [10] 吕锋,崔晓辉.多目标决策灰色关联投影法及其应用[J].系统工程理论与实践,2002(1):103-107.
LÜ Feng, CUI Xiao-hui. Multi-Criteria Decision Grey Relation Projection Method and Its Application[J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2002(1):103-107.
- [11] 邓聚龙.灰理论基础[M].武汉:华中科技大学出版社,2003:87-437.
Deng Ju-long. Grey theory[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2003:87-437.
- [12] 肖新平,李福琴,涂金忠.基于离差最大化的灰色关联分析法在公路网综合评价中的应用[J].公路,2006(8):122-126.
XIAO Xin-ping, LI Fu-qin, TU Jin-zhong. Grey relational analysis in the application of comprehensive evaluation for road network Based on the maximizing deviation method[J]. highway, 2006(8):122-126.
- [13] 王卫兵,王磊,孙毅.多目标决策灰色关联投影法油气回收绩效评价[J].哈尔滨理工大学学报,2011,16(1):94-101.
WANG Wei-bing, WANG Lei, SUN Yi. Assessment Model of Economic Performance of Oil Vapor Recovery Based on Grey Relation Projection Method of Multi-criteria Decision[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2011, 16(1):94-101.

Grey relation projection evaluation model of highway network planning schemes based on maximizing deviation method

LI Xiao-wei¹, CHEN Hong², WANG Zhao-fei¹, MA Juan²

(1. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. Highway School, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Considering the highway network planning involves multiple and incompatibility indicators of different systems and different dimensions about technology-economy-society-environment, one kind of grey relation projection evaluation model based on the maximizing deviation method was established. Firstly, the original decision-making matrix was built up by taking evaluation indexes as set of factors and planning schemes as field sets, which was standardized by the $[-1, 1]$ linear transformation operator. Secondly, the ideal programs were taken as the reference points of priority on the basis of TOPSIS, and the grey relevancy matrixes were established for taking the ideal programs as reference sequences and taking planning schemes as compared sequences on the base of grey system theory. Thirdly, the evaluation indexes weights were determined by the maximizing deviation method to overcome the effect of subjectivity, and the augmented correlation coefficient matrix with weights and grey relation projection evaluation model were built up. Research shows that the model, simple and easy to manipulate, can fully take advantage of the grey relational analysis and projection decision, avoid subjectivity of determination about index weights and provide scientific and reasonable decision making basis for highway network planning.

Key words: *traffic engineering; highway; maximizing deviation method; projection; evaluation*

Biography: LI Xiao-wei, Ph. D., Lecturer, Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-13991235157, E-mail: L6X6W6@qq.com

(上接第 678 页)

Research on historical urban morphology based on GIS

——Case study of analysis on distribution and influence factors of temples in Guangzhou in the Qing-Dynasty

HE Shao-ying¹, TANG Zhong²

(1. School of Architecture and Urban Planning, Guangdong University of Technology, State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. School of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Translating the maps of an ancient city is the key of reconstructing the historical special form of city and supporting the successive research on historical conservation. Taking the research on influence factors of temples' distribution in Guangzhou of Qing-Dynasty, based on the translation of the historical maps, the data warehouse of temples of Guangzhou city in the Qing Dynasty is constructed and the kernel density of distribution of Buddhism temples and the influence factors are compared and analyzed by means of GIS space analysis.

Key words: *GIS; urban Morphology; Guangzhou of Qing-Dynasty; temples; distribution*

Biography: HE Shao-ying, Associate Professor, Guangzhou 510640, P. R. China, Tel: 0086-13602760955, E-mail: 13602760955@139.com