

# 基于信息熵与变权综合的城市快速路节点规划

李 锐, 金祎璇, 任 欢

(西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 利用变权与信息论中的熵理论对城市快速路节点的重要度进行评价, 以此对城市快速路节点进行规划. 首先, 分析影响城市快速路节点规划的主要因素, 构建城市快速路节点重要度的评价指标. 其次, 用熵权法构造常权向量, 研究评价指标间的相互关系适当选取状态变权向量. 再次, 应用常权和变权向量构造变权模型, 建立城市快速路节点重要度的评价模型. 最后, 应用实例对快速路节点进行评价, 验证了模型的有效性, 并提出规划意见. 结果表明, 此种针对城市快速路节点重要度的评价方法, 能考虑到各指标之间的相互影响及指标值波动对实际结果所产生的影响, 规划结果符合实际, 为城市快速路节点规划与设计提供理论依据, 具有一定参考价值.

**关键词:** 快速路节点; 熵权法; 变权; 重要度评价模型; 节点规划

**中图分类号:** U491.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2014)05-0696-05

近些年, 随着城市的不断扩大和发展, 城市道路也在不断的扩张, 城市交通从各个方面影响着城市的发展. 城市快速路节点是城市道路的枢纽, 对于交通量的流量、流向等起着控制作用. 城市快速路节点的重要度, 对于快速路节点的合理设计、交叉口类型的合理选取起着决定性作用, 因此, 对于城市快速路节点重要度的评价比选尤为重要. 在评价中, 各种评价指标的权重确定方法主要有专家评分、模糊统计、二元对比排序等几种方法. 目前一些新的方法被运用到权重确定领域, 主要有组合赋权法, 误差分析方法, 熵权法, 模糊判断矩阵法, 灰色关联度法等. 这些方法中, 无论是反映决策者主观判断或经验的主观赋权法, 还是基于比较完善的数学理论与方法的客观赋权法, 都依赖于决策者的先验知识<sup>[1]</sup>.

熵原本是一热力学概念, 后被引入信息论, 现已广泛应用在工程技术、社会经济等领域. 根据信息论基本原理, 信息是系统有序程度的一个度量, 而熵是系统无序程度的一个度量<sup>[2]</sup>. 我国学者汪培庄教授早在 20 世纪 80 年代研究多目标决策时就曾提出状态变权的概念. 之后, 以李洪兴教授为代表的一些学者对变权理论进行了系统的研究, 给出了处罚型变权、激励型变权与混合型变权的公理化体系和基于状态变权向量、均衡函数等概念的多目标变权决策方法<sup>[3]</sup>.

本文提出一种基于熵权法与变权综合的评价模型. 在应用常权的基础上结合变权模型, 将熵权法与变权综合, 在计算权重时不仅考虑某个因素单独的影响, 同时考虑各因素之间的重要程度因各因素的变化而对权重产生的影响, 根据各指标的状态来调整权重向量, 以此更加合理的评价城市快速路节点的重要度, 为城市快速路节点的规划与设计提供理论依据.

## 1 评价指标的选取

影响城市快速路节点规划的因素主要有:

### (1) 土地利用性质

城市土地利用, 是指用于建设和城市机能运转所需要的土地, 包括已经建设利用的土地和已列入城市规划区范围尚待开发使用的土地. 城市交通与土地利用相互联系、相互制约. 城市不同组团、不同片区的规模和人口密度决定了城市片区交通出行的次数, 同时也决定了其所关联的快速路节点的重要程度, 在评价节点重要程度时, 应该充分考虑其规模和人口等指标, 从而使对城市快速路节点的规划与交通发生量和吸引量相统一.

### (2) 交通量

交通量是实际道路上所通行的车辆数的具体衡量, 反映了道路的负荷量. 交叉口的交通量一般分为两类: 一类是主线的直行交通量, 另一类是转换交通量. 在城市快速路节点的规划中, 如果主线交通量较大, 则不宜平交. 同时, 如果转换交通量大, 通常设置互通式立体交叉, 如果转换交通量小, 而设置成分离式

收稿日期: 2014-03-03

修稿日期: 2014-09-25

基金项目: 陕西省教育厅专项科研计划项目 (11JK0895)

作者简介: 李锐(1975-), 女, 博士, 副教授, 主要从事城市交通规划、总图运输优化理论等研究. E-mail: lirui7010@163.com

立体交叉或进行适当的归并,以提高效益.交叉口的直行交通量和转换交通量对节点的规划有重要影响.

### (3) 道路条件

道路的几何条件,包括交通设施的种类、性质及其形成的环境、每个方向车道数等道路条件等.这些几何条件中,车道数直接决定通行能力的大小,交通设施的布置等对道路通行能力的影响不大.

根据对上述影响因素的分析,可选取容积率、直行交通量、转弯交通量、车道数四个指标作为综合判定的评价指标.其中容积率是指项目规划建设用地范围内全部建筑面积与规划建设用地面积之比,它是衡量建设土地使用强度的一项重要指标.道路节点交通量,包括直行和转弯交通量.车道数即交叉口主线上的车道数.

## 2 信息熵和变权理论的城市快速路节点重要度计算方法

### 2.1 信息熵

一个系统可能处于多种不同的状态,而假设每种状态出现的概率为  $p_i$ ,则该系统的熵可以定义<sup>[2]</sup>为:

$$E = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i, \quad i = \{1, 2, \dots, n\}$$

显然,当  $p_i = 1/n$ ,  $i = \{1, 2, \dots, n\}$  时,即每种状态出现的概率相等时,熵取得最大值:  $E = \ln n$ .

### 2.2 变权理论

变权有“惩罚型”、“激励型”、“混合型”.“惩罚型”注重评价因素之间的均衡性,“激励型”与“惩罚型”相反,注重对关键因素的激励,“混合型”是对“惩罚型”与“激励型”的综合使用.

定义<sup>[5-7]</sup>:映射  $s: [0, 1]^m \rightarrow (0, 1]^m$ ,  $X(x_1, x_2, \dots, x_m) \rightarrow s(X)$ , 称  $s(X) = (s_1(X), s_2(X), \dots, s_m(X))$  为状态变权向量,如果满足条件:

(1)  $s_j(\sigma_{ij}(x_1, x_2, \dots, x_m)) = s_j(x_1, x_2, \dots, x_m)$ ,  $\sigma_{ij}(x_1, x_2, \dots, x_m)$  表示交换  $(x_1, x_2, \dots, x_m)$  中第  $i$  个分量与第  $j$  个分量的位置;

(2)  $x_i \geq x_j \Rightarrow s_i(x_1, x_2, \dots, x_m) \geq s_j(x_1, x_2, \dots, x_m)$ ;

(3)  $s_j(x_1, x_2, \dots, x_m)$  对每个变元  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 连续;

(4) 对任意常权向量  $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ , 有:

$$W(X) = (W_1(X), W_2(X), \dots, W_m(X)) = \left( \frac{w_1 s_1(X)}{\sum_{j=1}^m w_j s_j(X)}, \frac{w_2 s_2(X)}{\sum_{j=1}^m w_j s_j(X)}, \dots, \frac{w_m s_m(X)}{\sum_{j=1}^m w_j s_j(X)} \right)$$

### 2.3 城市快速路节点重要度的评价模型

对于  $m$  个指标,  $n$  个交叉口的评价系统,原始指标数据为  $\{x_{ij}\}_{n \times m}$ .

(1) 根据实测数据,首先分析每个指标的自身的变化规律,计算每个指标的信息熵:

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

$$p_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^n r_{ij}, (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

其中,  $p_{ij} = 0$  时,令  $E_j = 0$ .

立体交叉第  $j$  项评价指标的常权系数为:

$$w_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^m (1 - E_j)} \quad (3)$$

(2) 分析指标之间的关系,在已获得的常权的基础上,定义变权向量,得到变权.由于在此快速路节点评价中,各指标之间存在一定的相关性,需要兼顾单个影响因素状态平衡,所以采用惩罚型状态变权向量,于是得到变权后的权重<sup>[7]</sup>为:

$$W_{ij} = \frac{w_j / x_{ij}}{\sum_{j=1}^m w_j / x_{ij}}$$

(4)

(3) 城市快速路节点重要度的计算公式为:

$$I_i = \sum_{j=1}^m W_{ij} \frac{x_{ij}}{\max(x_j)}$$

(5)

上面各式中:  $I_i$  表示第  $i$  个节点的重要度;  $x_{ij}$  表示第  $i$  个节点的第  $j$  项指标的数值;  $\max(x_j)$  表示  $i$  个节点第  $j$  项指标的最大值;  $w_j$  表示由熵权法得到的第  $j$  项指标的权重.  $W_{ij}$  表示第  $i$  个节点第  $j$  项指标的变权权重.

3 实例分析

以西安市南二环部分节点为例, 选取长安路、雁塔路、太乙路、兴庆路、文艺路、经九路为研究对象, 如图 1 所示, 各节点的交叉形式如表 1, 各节点评价指标值如表 2.



图 1 西安市南二环部分节点示意图

Fig.1 Urban expressway nodes sketch on the 2nd south Ring Road in Xi'an

表 1 西安市南二环部分交叉口交叉形式

Tab.1 Urban expressway nodes on the 2nd south Ring Road in Xi'an

相交道路名称	相交道路性质	交叉形式	跨越方式
长安路	主干路	完全互通式立体交叉 (长条苜蓿叶形)	下穿式
文艺路	次干路	平交	
雁塔路	主干路	部分互通式立体交叉	下穿式
太乙路	主干路	完全互通式立体交叉 (长条苜蓿叶形)	上跨式
经九路	次干路	平交	
兴庆路、雁翔路	主干路	分离式立体交叉	上跨式

表 2 西安市南二环部分交叉节点信息指标

Tab.2 Evaluation index value on the 2nd south Ring Road in Xi'an

名称	右转交通量 pcu/h	左转交通量 (pcu/h)	直行交通量 (pcu/h)	总交通量 (pcu/h)	车道数	容积率
长安路立交	1 633	3 285	11 615	16 533	6	2.8
文艺路	1 275	0	8 308	9 583	4	2.2
雁塔立交	1 283	1 587	8 927	11 797	6	2.5
太乙立交	1 715	2 502	11 913	16 130	6	3.0
经九路	2 730	0	9 040	11 770	4	2.8
兴庆路、雁翔路	1 882	2 651	12 531	17 064	6	2.8

(1) 节点重要度的表达

选取转弯交通量 (左转弯与右转弯之和)、直行交通量、车道数、容积率作为节点属性集合记为  $c = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}$ , 选取六个快速路节点作为研究对象, 属性值集合为  $\{x_{ij}\}_{6 \times 4}$ .

(2) 节点指标的标准化

由于所研究的三个指标对节点重要度的影响都是随着指标的增大而增大的, 将数据进行归一化处理得到  $R = \{r_{ij}\}_{6 \times 4}$  如下:

$$r_{ij} = (x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq 6} x_{ij}) / (\max_{1 \leq i \leq 6} x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq 6} x_{ij})$$

(3) 根据式 (1)、(2) 计算各指标的信息熵, 由式 (3) 确定各指标的权重.

(4) 采用合理变权模式计算变权后的权重

变权向量计算时, 由于数据的基数大小不一, 采用  $x_{ij} / \max(x_j)$  作为指标值对指标值进行标准化, 于是(4)式变为:

$$W_{ij} = \frac{w_j \frac{\max(x_j)}{x_{ij}}}{\sum_{j=1}^4 w_j \frac{\max(x_j)}{x_{ij}}}$$

(5) 由 (5) 式计算节点重要度, 计算得到节点重要度的数值见表 3.

表 3 西安市南二环部分快速路节点重要度

Tab.3 The importance level of the expressway nodes on the 2nd south Ring Road in Xi'an				
名称	信息熵与变权综合法	排序	层次分析法	排序
长安路立交	0.975	1	0.96	3
文艺路	0.476	6	0.62	6
雁塔立交	0.752	4	0.78	4
太乙立交	0.949	3	0.97	2
经九路	0.686	5	0.73	5
兴庆路、雁翔路	0.964	2	0.99	1

信息熵与变权综合法评价结果与表 1 相比较显示, 长安路立交与太乙立交节点重要, 适合修建完全互通式立交; 雁塔路节点较重要适合选用部分互通式立交, 文艺路与经九路相对不是很重要, 适合选用平交形式. 兴庆路、雁翔路节点重要, 而实际选用的是分离式立体交叉, 推荐改用互通式立体交叉. 与层次分析法对比, 两种方法的评价结果基本相同, 但信息熵与变权综合的评价模型, 其评价结果数值差异较大, 区分度更加明显. 同时, 评价方法将节点的转弯交通量与直行交通量分开考虑, 使得节点的评价更加准确.

4 结论

与层次分析法对比, 熵权与变权综合的方法与实际情况更加符合, 说明它可以很好的评价城市快速路节点的重要性. 由于变权计算中考虑到了指标的变化对权重的影响, 这使得它优于常权评价模型, 使评价结果更符合实际情况, 从而可为城市快速路节点规划提供理论依据.

参考文献 References

[1] 冯焕焕. 基于粗糙集和合理变权的公路网节点重要度测算方法[J]. 公路工程, 2012, 37(2): 60-63.  
FENG Huanhuan. Method of node importance in highway network based on rough sets and reasonable variable weight[J]. Highway Engineering, 2012, 37(2): 60-63.

[2] 谢赤, 钟赞. 熵权法在银行经营绩效综合评价中的应用[J]. 中国软科学, 2002(9): 108-110.  
XIE Chi, ZHONG Zan. Entropy method and its application in comprehensive evaluation of bank's performance[J]. China Soft Science, 2002(9): 108-110.

[3] 李春好, 孙永河, 贾艳辉, 等. 变权层次分析法[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 30(4): 723-731.  
LI Chunhao, SUN Yonghe, JIA Yanhui, et al. Analytic hierarchy process based on variable weights[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2008, 30(4): 723-731.

[4] 章穗, 张梅, 迟国泰. 基于熵权法的科学技术评价模型及其实证研究[J]. 管理学报, 2010(1): 34-41.  
ZHANG Sui, ZHANG Mei, CHI Guotai. The science and technology evaluation model based on entropy weight and empirical research during the 10th Five-Year of China[J]. Chinese Journal of Management, 2010(1): 34-41.

[5] 吴冠岑, 牛星. 土地生态安全预警的惩罚型变权评价模型的应用——以淮安市为例[J]. 资源学, 2010, 32(5): 992-999.  
WU Guancen, NIU Xing. Application of an evaluation model based on punishing variable weight for early warming of land ecological security[J]. Resources Science, 2010, 32(5): 992-999.

[6] 朱勇珍, 李洪兴. 状态变权的公理化体系和均衡函数的构造[J]. 系统工程理论与实践, 1999(7): 116-118.  
ZHU Yongzhen, LI Hongxing. A xiomatic system of state variable weights[J]. Systems Engineering-Theory & Practice,

- 1999(7): 116-118.
- [7] 刘文齐. 均衡函数及其在变权综合中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1997(4): 59-63.  
LIU Wenqi. Balanced function and its application for variable weight synthesizing[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 1997(4): 59-63.
- [8] 颀茂华, 塔娜. 草原可持续发展三重能力的变权综合评价——以中国四大草原为例[J]. 资源与矿产, 2013, 15(4): 118-124.  
XIE Maohua, TA Na. A case study on china's four prairies: variable weight comprehensive evaluation of triple capacities of prairie sustainable development[J]. Resources & Industries, 2013, 15(4): 118-124.
- [9] 张英平, 石建省, 刘长礼. 基于 GIS 的城市工程地质环境质量变权评价[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(3): 97-101.  
ZHANG Yingping, SHI Jiansheng, LIU Changli. On the Synthetic evaluation of the GIS-based variable weight of the urban geological engineering environment quality[J]. Journal of Safety and Environment, 2012, 12(3): 97-101.
- [10] 郭欣. 基于改进的信息熵为权重的模糊多属性决策[J]. 中国科教创新导刊, 2013(26): 22-24.  
GUO Xin. Based on improved information entropy weight fuzzy multiple attribute decision making[J]. China Education Innovation Herald, 2013(26): 22-24.
- [11] GRIGGS J R, KRÁL D. Graph label lings with variable weights, a survey[J]. Discrete Applied Mathematics, 2008, 157(12): 2646-2658.
- [12] ZAMRI N, ABDULLAH L. A new linguistic variable in interval type-2 fuzzy entropy weight of a decision making method[J]. Procedia Computer Science, 2013, 24: 42-53.

## Nodes planning of urban expressway based on entropy weight and variable weight model

LI Rui, JIN Yixuan, REN Huan

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

**Abstract:** A new method based on information entropy theory and variable weight theory is used to plan urban expressway nodes in the present research. First of all, theory evaluation index system of urban expressway nodes is established on the basis of influence factors. Secondly, constant weight is established based on information entropy theory and state variable weight vectors are chosen according to the interplay of the influence factors. Thirdly, variable weight is established by using the constant weight and state variable weight vectors. Finally, the model is verified by an example. The results shows that the model based on variable weight could better evaluate the importance of urban expressway nodes and provide a theory for planning and designing urban expressway nodes.

**Key words:** expressway; node; entropy theory; variable weight theory

(本文编辑 桂智刚)

(上接第 695 页)

## Seismic response analysis of a new friction sliding model

MA Yan<sup>1</sup>, WANG Sheliang<sup>1</sup>, LIU Junsheng<sup>1,2</sup>, MA Yuxiao<sup>1</sup>, ZHAN Meng<sup>1</sup>

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

2. Shaanxi Academy of Building Research, Xi'an 710082, China)

**Abstract:** Using a new solid friction-sliding material-molybdenum disulfide as coating material, this paper proposes a framework applied to the structure to isolation and energy dissipation of new separate friction-sliding isolation system. A similar ratio of 1/5 of the five layer isolation test model of reinforced concrete frame structure is designed. At the same time, the using ANSYS finite element analysis software is used in establishing the finite element analysis model of the structure of the test model, and analyzing the model of seismic response of the structure under different conditions. The research results show that with the new friction-sliding isolation device, the seismic response of the upper structure, acceleration, the relative displacement between the layers, and the floor seismic shear force all decreased. The new solid friction-sliding materials molybdenum disulfide as coating material of new friction-sliding isolation device as adopted in this paper can significantly reduce the seismic response of the frame structure, producing obvious vibration isolation effect. In addition, with the reasonable structure and implementation plan, the device could satisfy the requirement of the frame structure isolation vibration in practical engineering structure.

**Key words:** frictional sliding; seismic response; isolation; frame structure; isolation device

(本文编辑 桂智刚)