

模糊算法在城市客运交通枢纽换乘方案优选中的应用

孙立山, 任福田, 姚丽亚

(北京工业大学 交通工程北京市重点实验室, 北京 10022)

摘要: 换乘、疏散、停车、引导是城市客运交通枢纽的4项主要功能,其中以换乘功能最为关键.围绕枢纽多换乘方案的评价优选这一关键问题,建立了定性与定量指标相结合的换乘评价指标体系,并分别给出了各项评价指标的计算方法.随后将改进的层次分析法与模糊多属性决策理论方法中的模糊折衷型决策算法联合应用,进行枢纽换乘方案的排序.该算法在对决策过程进行模拟和研究的过程中,始终保持模糊元素的线性性质,可最终获得问题的解析性结果,较好地解决了目前枢纽换乘方案优选过程中主观性过大的问题.

关键词: 城市客运;交通枢纽;换乘;优化设计;模糊多属性决策

中图分类号: U 491.14

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2007)05-0470-05

城市客运交通枢纽中不同交通方式的换乘衔接是枢纽整体化研究的重要内容,是提高枢纽整体运转效率的关键所在.我国在枢纽换乘方案的设计方面仍然处于不成熟阶段.虽然目前在一些大城市中已经规划建设了若干客运交通枢纽,并且其中部分枢纽建成后的换乘客流量也很大,但这是由于目前我国各城市中客运交通需求过大而导致的,并不能掩盖枢纽规划设计中存在的换乘不便、综合性不强等诸多问题.将科学的算法应用到城市客运交通枢纽的换乘方案决策过程中十分必要^[1].

1 评价体系的构建

根据系统性原则、科学性和实用性相结合原则、定量与定性分析相结合原则、引导性原则、可比性原则,对城市客运交通枢纽换乘方案的各项评价指标逐一进行分析和筛选^[2-5],形成城市客运交通枢纽换乘方案评价指标体系 U ,如图1所示.

1) 舒适性 U_1

舒适性为在枢纽范围内,换乘客流从枢纽所提供的服务项目中获得的舒适、满意程度.该指标反映了客运交通枢纽为换乘客流提供各项服务的水平,包括诱导设施 U_{11} 、信息发布 U_{12} 、防止恶劣环境设施状况 U_{13} 、自动运输设备 U_{14} 等指标.

2) 换乘运能度 U_2

换乘运能度用来反映枢纽对客流的疏散能力,可以用换乘疏散能力和高峰小时需要换乘客运量的比值来计算

$$U_2 = \frac{Q_c}{Q_h} \tag{1}$$

式中, Q_c 为所有交通方式所能提供的换乘疏散运能之和; Q_h 为运能最大的交通方式高峰小时运送的乘

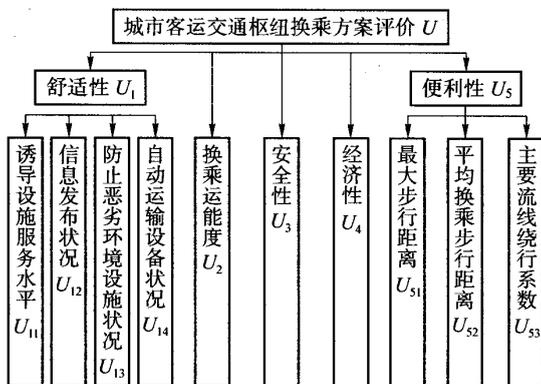


图1 城市客运交通枢纽换乘方案评价指标体系

Fig.1 The evaluation index system for transportation terminal

客数.

3) 安全性 U_3

安全性指在换乘方式复杂的枢纽内,各种交通流相互干扰的程度.该指标反映枢纽内部客流组织水平.

$$U_3 = \bar{L}/P_c \quad (2)$$

式中, P_c 为枢纽设施内换乘客流流线之间形成的冲突点数; \bar{L} 为枢纽平均换乘步行距离.当安全性过低时,应加强对枢纽内局部区域形态的研究和重叠区域的边界分析,理清复杂和难以识别的环境,必要时需进行换乘流线的组织优化.此处提到的局部区域和重叠区域包括枢纽内部的换乘大厅,不同性质人流的交汇区域等.

4) 经济性 U_4

经济性指标属定性指标,与行人的旅行延误和不方便性的相关费用有联系,通常可根据换乘方案的不同,利用好、较好、一般等语言指标进行衡量,然后通过量化算法作进一步计算.

5) 便利性 U_5

影响便利性的因素很多,如步行距离、路线的直接性、坡度等,其中步行距离是便利性的决定因素.

① 最大步行距离 U_{51}

在不同交通工具之间换乘的乘客,由于来源不同,步行的距离也不相同.综合所有的出行距离,可得出其中的最大值,这个值代表枢纽内换乘人流的最大路径.

② 平均换乘步行距离 U_{52}

对整个客运枢纽来说,平均步行距离是枢纽区客流组织的一个重要指标,平均换乘步行距离小,整个交通枢纽运行效率就高,反之亦然.由于各种不同交通方式间的换乘量不同,计算平均步行距离的取值应以换乘量为权重.平均换乘步行距离的表达式为

$$U_{52} = \sum M_{ij} \times L_{ij} / M_{hc} \quad (3)$$

式中, M_{ij} 为各类换乘客流的流量,不包括枢纽站自身吸引附近区域的客流量; M_{hc} 为枢纽的换乘客流总量; L_{ij} 为各类换乘客流的步行距离.

考虑到人在水平面步行和竖向步行(上、下楼)心理与体力消耗的不同,取

$$L_{ij} = H_{ij} + K \times V_{ij} \quad (4)$$

式中, H_{ij} 为水平距离; V_{ij} 为竖向高程差; K 为上、下楼距离增大系数,上楼取 4.0,下楼取 2.0(如选择自动扶梯可取 1.0).

③ 绕行系数 U_{53}

换乘乘客的步行距离与枢纽区域的平面布置及换乘流线的布置有直接关系,在实际工程中,枢纽站的平面布置经常受规划等种种条件限制,其位置基本被限定.在这种情况下,对客流组织的评价不能仅仅以步行距离的长短来衡量,还应当考虑在这种平面布置下乘客绕行距离的长短.设 2 种交通方式站台的直线距离为 S_{ij} ,乘客实际步行距离为 L_{ij} ,则定义绕行系数 $U_{53} = L_{ij}/S_{ij}$.绕行系数的计算应选择枢纽内最主要的换乘客流流线.

2 备选方案优选算法

模糊折衷型决策方法是先在原模糊指标值基础上确定模糊理想解和负理想解,并通过引进满意度的概念来刻画方案与模糊理想解和负理想解之间的差异,然后对方案在各属性上的满意度加权,以调整方案的优劣次序和最终得到最大满意解.相对于目前广泛使用的专家打分、灰色理论等方法而言,模糊折衷型算法具有计算简单,计算过程始终保持模糊元素的线性性质,可获得问题的解析性结果等优势.

在采用层次分析法(AHP)确定各项指标的权重之后^[6],即可采用模糊折衷型决策方法(F-compromise)确定各备选方案的综合排序.具体计算步骤为^[7-8]:

步骤 1 确定模糊理想解 \bar{M}^+ 和模糊负理想解 \bar{M}^-

$$\bar{M}^+ = (\bar{M}_1^+, \bar{M}_2^+, \dots, \bar{M}_n^+) \tag{5}$$

对于 \bar{M}_j^+ ,

① 如果指标值是精确值, 则对于收益类指标 $M_j^+ = \max_i \{x_{ij}\}$; 对于成本类指标 $M_j^+ = \min_i \{x_{ij}\}$

② 如果指标值是模糊值, 则

对于收益类指标 $\bar{M}_j^+ = \max_i \{x_{ij}\}$ 具有隶属函数

$$\mu_{\bar{M}_j^+}(x) = \sup_{\substack{x=x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m \\ (x_1, x_2, \dots, x_m) \in R^m}} \min \{ \mu_{x_{1j}}^-(x_1), \mu_{x_{2j}}^-(x_2), \dots, \mu_{x_{mj}}^-(x_m) \} \tag{6}$$

对于成本类指标 $\bar{M}_j^+ = \max_i \{x_{ij}\}$ 具有隶属函数

$$\mu_{\bar{M}_j^+}(x) = \sup_{\substack{x=x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m \\ (x_1, x_2, \dots, x_m) \in R^m}} \min \{ \mu_{x_{1j}}^-(x_1), \mu_{x_{2j}}^-(x_2), \dots, \mu_{x_{mj}}^-(x_m) \} \tag{7}$$

模糊负理想解 \bar{M}^- 的确定方法与模糊理想解 \bar{M}^+ 的确定方法类似, 这里不再详述.

步骤 2 定义方案 A_i 相对于属性 j 而言的满意度 λ_{ij}

1) 如果指标值是精确值, 则

$$\lambda_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{M}_j^-}{M_j^+ - \bar{M}_j^-} \tag{8}$$

2) 如果指标值是模糊值, 则

$$\lambda_{ij} = \frac{d_L(\bar{x}_{ijL}, \bar{M}_j^-) + d_R(\bar{x}_{ijR}, \bar{M}_j^-)}{d_L(M_{jL}^+, \bar{M}_j^-) + d_R(M_{jR}^+, \bar{M}_j^-)} \tag{9}$$

由式(8), (9)计算得到的满意度矩阵可写为 $\lambda = [\lambda_{ij}]$

步骤 3 定义方案 A_i 相对于属性 j 而言的模糊加权满意度 $\bar{\lambda}_{ij}^\omega$

$$\bar{\lambda}_{ij}^\omega = \omega_j \lambda_{ij} \tag{10}$$

其模糊加权满意度矩阵记为 $\bar{\lambda}^\omega = [\bar{\lambda}_{ij}^\omega]$

步骤 4 定义方案 A_i 的总模糊加权满意度 $\bar{\lambda}_i^T$

$$\bar{\lambda}_i^T = \bar{\lambda}_{i1}^\omega \oplus \bar{\lambda}_{i2}^\omega \oplus \dots \oplus \bar{\lambda}_{im}^\omega \tag{11}$$

式中符号 \oplus 表示模糊数的广义加法, $\bar{\lambda}_i^T$ 具有隶属函数

$$\mu_{\bar{\lambda}_i^T}(x) = \sup_{\substack{(x_1, x_2, \dots, x_n): x = x_1 + \dots + x_n \\ x_1, x_2, \dots, x_n \in R^m}} \min \{ \mu_{\bar{\lambda}_{i1}^\omega}(x_1), \dots, \mu_{\bar{\lambda}_{im}^\omega}(x_n) \} \tag{12}$$

步骤 5 定义 $\bar{\lambda}_i^T, i = 1, \dots, m$ 的相对效用函数 $f(\bar{\lambda}_i^T)$, 具有隶属度

$$\mu_{f(\bar{\lambda}_i^T)}(r) = \frac{d_L[\bar{\lambda}_i^T, \min(\bar{\lambda}_i^T)] + d_R[\bar{\lambda}_i^T, \min(\bar{\lambda}_i^T)]}{d_L[\max(\bar{\lambda}_i^T), \min(\bar{\lambda}_i^T)] + d_R[\max(\bar{\lambda}_i^T), \min(\bar{\lambda}_i^T)]} \tag{13}$$

步骤 6 按照 $f(\bar{\lambda}_i^T)$ 值从小到大的顺序排列方案的优劣次序.

至此, 排在最前的即是决策者所期望的最优方案.

3 实例分析

宋家庄枢纽位于北京市区东南方位, 是集轨道交通, 长途客运, 市区公交为一体的综合客运交通枢纽. 根据宋家庄枢纽各备选方案实际情况, 对换乘评价指标体系中的定性指标进行专家咨询评定, 并综合定量数据, 得出指标赋值如表 1 所示.

由 AHP 法可得到各项指标合理的权重划分为 $U_1 = 0.243, U_2 = 0.268, U_3 = 0.127, U_4 = 0.101, U_5 = 0.261$; U_1 和 U_5 中, $U_{11} = 0.062, U_{12} = 0.061, U_{13} = 0.060, U_{14} = 0.060, U_{51} = 0.080, U_{52} = 0.130, U_{53} = 0.051$. 相应权重矢量 $\omega = [(0.022, 0.062, 0.062), (0.021, 0.061, 0.101), (0.020, 0.060, 0.100), (0.020, 0.060, 0.100), (0.228, 0.268, 0.308), (0.087, 0.127, 0.167), (0.061, 0.101, 0.141),$

(0.040, 0.080, 0.120), (0.090, 0.130, 0.170), (0.051, 0.051, 0.091)]].

表1 指标赋值表

Table 1 Evaluation of indexes

方案	U_1				U_2	U_3	U_4	U_5		
	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}				U_{51}	U_{52}	U_{53}
A_1	较好	较好	一般	较好	1.53	7.125	较好	100	28.5	1.087
A_2	好	好	较好	较好	1.51	7.575	好	100	30.3	1.087
A_3	一般	一般	一般	较好	1.46	13.43	好	150	40.3	1.124
A_4	一般	较好	较好	一般	1.50	6.267	一般	150	37.6	1.099

接下来用模糊折衷型算法解决备选方案的排序问题,为此,先用三角模糊数表示决策矩阵中的定性指标.

$$\bar{D} = \begin{bmatrix} (0.6, 0.7, 0.8) & (0.6, 0.7, 0.8) & \cdots & 28.5 & 1.087 \\ (0.8, 0.9, 1.0) & (0.8, 0.9, 1.0) & \cdots & 30.3 & 1.087 \\ (0.3, 0.4, 0.5) & (0.3, 0.4, 0.5) & \cdots & 40.3 & 1.124 \\ (0.3, 0.4, 0.5) & (0.6, 0.7, 0.8) & \cdots & 37.6 & 1.099 \end{bmatrix}$$

步骤1 模糊理想解 \bar{M}^+ 和模糊负理想解 \bar{M}^-

$$\bar{M}^+ = [(0.8, 0.9, 1.0), (0.8, 0.9, 1.0), (0.6, 0.7, 0.8), (0.6, 0.7, 0.8), 1.53, 13.43, (0.8, 0.9, 1.0), 100, 28.5, 1.087]$$

$$\bar{M}^- = [(0.3, 0.4, 0.5), (0.3, 0.4, 0.5), (0.3, 0.4, 0.5), (0.3, 0.4, 0.5), 1.46, 6.267, (0.3, 0.4, 0.5), 150, 40.3, 1.124]$$

步骤2 相对满意度 λ_{ij} 和满意度矩阵 λ

$$\lambda = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.6 & 0 & 1 & 1 & 0.120 & 0.6 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0.714 & 0.183 & 1 & 1 & 0.847 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 1 & 0 & 0.571 & 0 & 0 & 0 & 0.229 & 0.676 \end{bmatrix}$$

步骤3 模糊加权满意度 $\bar{\lambda}_{ij}^T$ 和模糊加权满意度矩阵 $\bar{\lambda}_i^T$

$$\bar{\lambda}_i^T = \begin{bmatrix} (0.013, 0.037, 0.037) & (0.013, 0.037, 0.061) & \cdots & (0.090, 0.130, 0.061) & (0.051, 0.051, 0.091) \\ (0.022, 0.062, 0.062) & (0.021, 0.061, 0.101) & \cdots & (0.076, 0.110, 0.144) & (0.051, 0.051, 0.091) \\ (0, 0, 0) & (0, 0, 0) & \cdots & (0, 0, 0) & (0, 0, 0) \\ (0, 0, 0) & (0.013, 0.037, 0.061) & \cdots & (0.021, 0.030, 0.039) & (0.034, 0.034, 0.062) \end{bmatrix}$$

步骤4 方案的总模糊加权满意度 $\bar{\lambda}_i^T$

$$\bar{\lambda}_i^T = \begin{bmatrix} 0.502 & 0.739 & 0.992 \\ 0.49 & 0.799 & 0.11 \\ 0.168 & 0.288 & 0.408 \\ 0.218 & 0.314 & 0.438 \end{bmatrix}$$

$\bar{\lambda}_i^T$ 的相对优先函数 $f(\bar{\lambda}_i^T)$ 为

$$f(\bar{\lambda}_i^T) = \begin{bmatrix} 0.886 \\ 0.988 \\ 0 \\ 0.078 \end{bmatrix}$$

由此可知方案的优劣次序为 $A_2 > A_1 > A_4 > A_3$

4 结束语

从枢纽换乘优化的角度,进行了更具针对性的客运交通枢纽换乘方案的评价研究,确定了包含舒适性、安全性、便利性及换乘运能等多项指标的枢纽换乘方案评价体系,并对各项指标进行了定义,给出了指标计算方法,随后采用模糊折衷型算法进行枢纽换乘方案的排序.最后通过宋家庄枢纽换乘方案评价的实例验证了评价体系及算法的有效性.期望能更准确地把握、认识客运交通枢纽的内在规律及特征,为现代化客运交通枢纽的规划设计工作提供定量的研究指标和决策依据.

参考文献:

- [1] 胡思继. 综合运输工程学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 106-121.
- [2] 刘小明, 沈龙利, 杨孝宽. 城市客运枢纽综合评价指标体系研究[J]. 中国公路学报, 1995, 8(1): 97-102.
LIU Xiao-ming, SHEN D L, YANG Xiao-kuan. Overall evaluation indicator of urban passenger transfer hub[J]. China Journal of Highway and Transport, 1995, 8(1): 97-102. (in Chinese)
- [3] 李伟, 王伟, 邓卫, 等. 城市客运换乘枢纽多目标灰关联综合评价研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2004, 12(4): 5-9.
LI Wei, WANG Wei, DENG Wei, et al. Grey relationship multi-criteria appraising method study of the evaluation for urban passenger transfer hub[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2004, 12(4): 5-9. (in Chinese)
- [4] 周伟, 姜彩良. 城市交通枢纽旅客换乘问题研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2005, 5(5): 23-30.
ZHOU Wei, JIANG Cai-liang. Theoretical analysis of the interchange passengers in urban transport terminals[J]. Communication and Transportation Systems Engineering and Information, 2005, 5(5): 23-30. (in Chinese)
- [5] 李冬, 单静涛, 叶远春. 城市交通枢纽交通换乘分析与客流组织评价研究[C]//刘亚丽. 第七次城市道路与交通工程学术会议论文集. 北京: 人民交通出版社, 2002: 20-25.
LI Dong, SHAN Jing-tao, YE Yuan-chun. Study of the interchange passengers in urban transport terminals[C]//LIU Ya-li. The Seventh Road and Traffic Engineering Conference Proceedings. Beijing: China Communications Press, 2002: 20-25. (in Chinese)
- [6] 要瑞璞, 沈惠璋, 刘铎. 多层次系统的综合评价方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(4): 656-658.
YAO Rui-pu, SHEN Hui-zhang, LIU Duo. Study on the synthetic evaluation method for the multilevel system[J]. Systems Engineering and Electronics, 2005, 27(4): 656-658. (in Chinese)
- [7] 李荣钧. 模糊多准则决策理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 153-159.
- [8] 杨日辉, 王首绪. 基于新 AHP 法的公路路网后评价中环境影响的模糊综合评价[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(2): 93-95.
YANG Ri-hui, WANG Shou-xu. A new AHP method for environmental influence's fuzzy comprehensive evaluation of post evaluation of highway net[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2006, 25(2): 93-95. (in Chinese)

Application of Fuzzy Multi-attribute Decision Making Method in Urban Transportation Terminal Scheme Optimum Selection

SUN Li-shan, REN Fu-tian, YAO Li-ya

(Beijing Key Laboratory of Traffic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: The main function of transportation terminal is to transfer, park, distribute and direct passengers in different intentions and directions, in which the key function is to transfer. After having established the valuation index system for transportation terminal, which includes quantitative and qualitative indexes, the author presented the calculating method of the indexes in the system. Finally, the sort of the projects by use of the Multi-attribute Decision Making together with AHP is educed. The wide application of this method is surely to decrease the blindness in the evaluation of different transportation terminal projects, and make the work of transportation terminal design more scientific.

Key words: urban transportation; terminal; interchange; optimal design; fuzzy multiple attribute decision