

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2015.02.020

城市公共交通运输便捷性评价模型研究

任其亮, 孙丰瑞, 王亚龙

(重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074)

摘要: 科学地评价公共交通系统的便捷性, 对方便居民公交出行的科学评价具有极为重要的现实意义。为评价城市公共交通运输的便捷程度, 选取了公交站点覆盖率、公交线网密度等8个方便性评价指标和平均运送速度、乘客平均出行时耗等6个快捷性评价指标, 构建了城市公共交通运输便捷性评价指标体系。引入Vague物元评价方法构建了城市公共交通运输评价模型, 选取了2013年重庆主城区公共交通运输便捷性的主要指标对其进行了评价应用。评价结果表明: 基于Vague理想解的城市公共交通运输便捷性评价模型能够科学评价城市公共交通运输系统的便捷性。

关键词: 交通工程; 公共交通; 物元评价; 指标体系; 便捷性; Vague集; 物元

中图分类号: U491.1⁺7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2015)02-0127-07

Study on Evaluation Model of Urban Public Transport Convenience

REN Qi-liang, SUN Feng-rui, WANG Ya-long

(School of Traffic and Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: It plays a vitally practical role in the traveling of citizen by public transport whose convenience should be assessed rationally. We constructed the evaluation indicator system of the convenience of urban public transport which includes 8 convenience evaluation indicators just like coverage rate of stations, density of lines, etc. and 6 rapidness indicators just like average transport speed, average traveling time, etc. to evaluate the convenience of urban public transport city. By using the Vague matter-element evaluation method, we built the evaluation model of urban public transport, and selected the key indicators of 2013 downtown Chongqing about the urban public transport convenience to evaluate and apply the evaluation model. It is concluded that the evaluation model of urban public transport convenience based on the best solution of Vague can rationally evaluate the convenience of urban public transport system.

Key words: traffic engineering; public transport; matter-element evaluation; indicator system; convenience; vague set; matter-element

0 引言

公共交通运输的便捷性水平直接影响着城市居民的生活质量乃至城市功能的正常运转。提高公共交通运输便捷性, 是提高公共交通运输服务水平的关键任务, 是优先发展公共交通运输和破解交通拥堵难题的重要途径。因此, 科学地评价公共交通运输的便捷性对方便居民公交出行具有极为重要的现实意义。

在城市公共交通运输的便捷性和服务水平方面已有不少研究。Brown和Tyler^[1]提出了用模糊数学方法对乘客使用公共交通运输的方便程度进行评价。Alter^[1]运用标杆法评价了吸引潜在乘客流量的服务质量水平。Jetal^[2]运用支持向量机法对城市公共交通运输服务质量进行了评价。张驰^[3]采用空间分析技术和统计分析等方法对天津中心城区公交系统进行了定量评价。傅志军^[4]运用空间分析法分析了城市的公交便

收稿日期: 2014-05-05

基金项目: 重庆市科委基础与前沿研究项目(cstc2014jcyJA30007); 重庆市教委自然科学基金研究项目(KJ130422)

作者简介: 任其亮(1978-), 男, 山东莱芜人, 博士后, 教授。(cqrql@126.com)

捷度, 以此提出了公交站区分布中存在的问题和改进建议。可以看出, 现有研究对于推动和完善公共交通便捷性评价方面均取得了重要贡献, 但针对公共交通方便性和服务质量等方面的评价不但缺乏对影响公交出行便捷性选择多因素的综合量化考虑, 更没有对公交便捷性综合评价模型的研究。为保证评价决策的效果, 有必要从方便性与快捷性两方面综合选取城市公共交通便捷性评价指标体系并建立其综合评价模型。

本研究将综合考虑居民公交出行(起讫点之间)便捷性影响因素(如起讫点、公共交通容量、线路和公共交通辅助设施等), 建立城市公交便捷性评价指标体系, 利用基于理想解的 Vague 物元评价方法对其便捷性进行评价。

1 公共交通便捷性评价指标体系

公共交通便捷性包含了方便性和快捷性两个方面。其中, 方便性指居民能够顺利地整个出行过程, 没有困难和阻碍; 快捷性指居民能够较快捷地从起点到达讫点, 尽可能减少出行时耗。影响公交出行便捷性的影响因素有很多, 本研究综合分析目标层次法、因果法和复合法选取主要的评价指标。首先, 将公共交通便捷性这一抽象目标作为顶层目标, 第2层则为方便性、快捷性目标, 最后1层为具体指标层。然后, 具体指标通过公共交通出行环境对便捷性之间的因果关系和影响程度的考虑获得, 而乘客平均出行时耗指标由步行时间、候车时间、换乘时间、公交车辆行驶时间4项指标复合而成。在分析有关公共交通便捷性相关指标的基础上, 遵循充分性、层次性、公开性、可测性、可比性、可操作性、清晰性、关联性8个原则选取公共交通便捷性评价指标, 于是, 方便性指标主要包括公交车万人拥有量、公交站点覆盖率、公交线网密度、平均换乘系数、平均换乘距离、公交线路重复系数、辅助设施的完备性和公交日服务时间8个评价指标; 快捷性指标包括平均运送速度、乘客平均出行时耗、行车准点率、公交专用道设置率、平均发车间隔和非直线系数6个评价指标。根据各指标的隶属关系, 将指标体系的整体结构划分为3层, 城市公共交通便捷性评价指标体系如图1所示。

2 基于理想解的 Vague 物元评价模型

2.1 公共交通便捷性评价指标的 Vague 物元表示

假设某城市公共交通便捷性有 n 个评价指标,

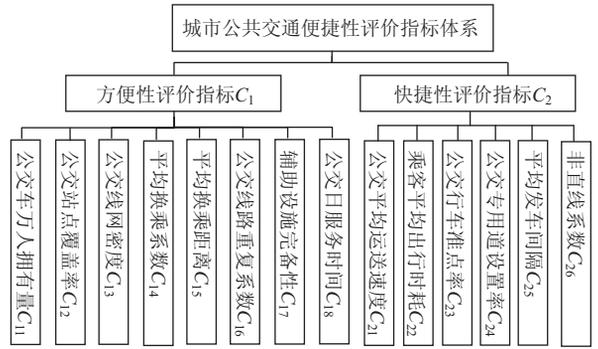


图1 城市公共交通便捷性评价指标体系

Fig.1 Urban public transport convenience evaluation indicator system

表示为 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, 某个评价指标为 c_n ; m 个评价等级, 表示为 $N = \{N_1, N_2, \dots, N_m\}$, 某个评价等级为 N_j 。特征的量值 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。第 j 个等级的第 i 个指标的量值表示为 v_{ij} , 指标的量值取 Vague 值, $v_{ij} = (t_{ij}, 1 - f_{ij})$, ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$), t_{ij} 为第 i 个指标 j 个等级的 Vague 集的真隶属函数; f_{ij} 为第 i 个指标 j 个等级的 Vague 集的假隶属函数。这就组成了 j 个等级和 i 个指标的 Vague 物元 $R_{nm}^{[5]}$ 。

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

2.2 公共交通便捷性定性指标的 Vague 值表示

对定性指标采用德尔菲法对各项指标进行评价, 将不同的评价等级转换为 Vague 集的语言变量集, 再运用语言变量进行表示, 从而实现将定性指标实现量化。语言术语集通常取奇数, 以让中间值近似为 0.5, 而让剩下的术语呈对称分布^[6]。术语集中各术语用 Vague 值, 取值在 $[0, 1]$ 之间。令术语集为 $P = \{x_j\}$, $x_j = (t_i, 1 - f_i)$, j 为奇数且 $j > 1$, $i = 1, 2, \dots, j^{[6]}$ 。术语的取值遵循以下原则:

(1) 如果 $i \geq k$, 则 $t_i \geq t_k$, 表示 t_i 属于 x_j 的程度比 t_k 属于 x_j 的程度高;

(2) 术语集的弃权部分 $(1 - t_i - f_i)$ 由两端向中间逐渐均匀增加, 但中间值为 0。

文献 [6] 给出了 Vague 值表示语言术语集和 Vague 语言变量的信息度量值。

2.3 公共交通便捷性定量指标的 Vague 值表示

评价指标的定量值是客观的确定值, 是一个单值, 无法直接用 Vague 值表示, 可以通过极变差法

对定量指标进行规范化处理。假使定量指标值为单纯的数值, 可分为效益型指标和成本型指标, 即越大越好性指标和越小越好性指标。处理后的每个指标对应的每个量值都可转化成隶属度在 $[0, 1]$ 中的 Vague 值形式^[5]。

对于成本型 (越小越好) 指标,

$$\begin{cases} t_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \\ f_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \end{cases}, \quad (2)$$

对于效益型 (越大越好) 指标,

$$\begin{cases} t_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \\ f_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \end{cases}, \quad (3)$$

式中, x_{ij} 为第 i 个评价等级的第 j 个指标值; x_j^{\max} 为第 j 个指标的最大值; x_j^{\min} 为第 j 个指标的最小值 ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$)。

2.3 公共交通便捷性的评价物元与理想物元的相对贴进度

传统物元评价法中有待测物元与评价物元。待评价的指标值构成了待测物元, 其量值是单值。评价物元确定了经典域与节域, 设定了评价等级和指标量值所能取到的范围, 是评价的标准, 其量值是一个区间。关联函数就是寻求待测物元与评价物元中不同等级之间关系的函数, 其实质是计算点到区间的距离。

Vague 复合物元评价法的待测物元 R_X 与评价物元 R_Y 的量值都是一个区间。由于 Vague 复合物元都是区间距离的计算, 处于同一等级, 有待测物元与评价物元可以写到一起构成评价综合物元。

$$R_{XY} = \begin{bmatrix} (t_{11}, 1 - f_{11}) & (t_{12}, 1 - f_{12}) & \cdots & (t_{1x}, 1 - f_{1x}) \\ (t_{21}, 1 - f_{21}) & (t_{22}, 1 - f_{22}) & \cdots & (t_{2x}, 1 - f_{2x}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ (t_{n1}, 1 - f_{n1}) & (t_{n2}, 1 - f_{n2}) & \cdots & (t_{nx}, 1 - f_{nx}) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

即:

$$R_{XY} = \begin{matrix} & \text{等级 1} & \text{等级 2} & \text{等级 } x \\ \text{指标 1} & (t_{11}, 1 - f_{11}) & (t_{12}, 1 - f_{12}) & \cdots & (t_{1x}, 1 - f_{1x}) \\ \text{指标 2} & (t_{21}, 1 - f_{21}) & (t_{22}, 1 - f_{22}) & \cdots & (t_{2x}, 1 - f_{2x}) \\ & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \text{指标 } n & (t_{n1}, 1 - f_{n1}) & (t_{n2}, 1 - f_{n2}) & \cdots & (t_{nx}, 1 - f_{nx}) \end{matrix}, \quad (5)$$

式中 $(t_{nx}, 1 - f_{nx})$ 为第 x 个评价等级的指标值。

在进行关联度计算时, 实质是计算区间到区间的距离。传统的关联函数将在 Vague 复合物元中不再适用。可以利用相似度量法, 相似度量法实质就是 Vague 复合物元的关联函数。

文献 [7] 详细阐述了相似度量法的构造方法与合理性, 这里只做计算说明。

$$M_z(x, y_j) = 1 - \frac{|t_x - f_x - t_{y_j} + f_{y_j}|}{8} - \frac{|t_x + f_x - t_{y_j} - f_{y_j}|}{4} - \frac{|t_x - t_{y_j}| + |f_x - f_{y_j}|}{8}, \quad (6)$$

式中, t_x 为 Vague 集的真隶属函数; f_x 为 Vague 集的假隶属度函数; t_{y_j} 为第 y 个指标 j 个等级的 Vague 集的真隶属度函数; f_{y_j} 为第 y 个指标 j 个等级的 Vague 集的假隶属度函数; $M_z(x, y_j)$ 为公共交通便捷性的某个指标与第 j 个评价等级对应指标值的相对贴进度。

2.4 基于理想解的 Vague 物元评价方法确定评价等级

在理想解法中, 正理想解是评价结果集中不一定存在的虚拟的最佳评价结果, 而负理想解则是虚拟的最差评价结果。将评价结果集中的评价结果物元与正理想解和负理想解的距离进行比较, 既靠近正理想解又远离负理想解的评价等级就是最佳评价结果, 并据此排定评价结果集中各评价结果的优先顺序。

(1) 确定 Vague 理想物元

理想物元有两种: 一种是绝对理想物元, 另一种是相对理想物元。假设某方案的所有指标值都达到可行域的最优值, 即为绝对正理想物元; 若方案的所有指标值都达到可行域的最差值, 即为绝对负理想物元。相对理想物元则根据各方案的实际指标值来确定, 由最佳实际指标值组成的物元为相对正理想物元, 由最差实际指标值组成的物元为相对负理想物元。绝对理想物元虽然容易确定, 但在求解时不能根据实际情况变动, 而且如果阈值设置不当, 容易遗漏可行方案。根据 Vague 排序函数来确定相对理想物元^[6]。

文献 [8] 提出了充分考虑已知信息相对于未知信息的优势以及真隶属函数对于假隶属函数优势的新排序方法。

$$O(N_i) = \alpha(t_{N_i} + f_{N_i} - \pi_{N_i}) + (t_{N_i} - f_{N_i}), \quad (7)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, m, m$ 为评价等级个数; t_{N_i} 为反映公共交通系统对便捷性的支持程度; f_{N_i} 为反映公共交通系统对便捷性的反对程度; π_{N_i} 为相对于公共交

通便捷性的弃权程度； α 为权重。 $O(N_i)$ 的值越大，评价等级 N_i 的便捷性越好。

根据 Vague 排序函数 $O(N_i)$ ，可将 Vague 等级物元改写为等级对指标的适合度物元 S_{mn} ：

$$S_{mn} = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{21} & \cdots & v_{m1} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{m2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{n1} & v_{n2} & \cdots & v_{mn} \end{pmatrix} \quad (8)$$

根据适合度物元来定义 Vague 正理想解 (Vague Positive-Ideal Solution, VPIS) 和 Vague 负理想解 (Vague Negative-Ideal Solution, VNIS)。

设 $r_j^* = \max_{1 \leq i \leq m} v_{ij}$ (第 j 个等级的第 i 个指标的最大量值 v_{ij})， $r_j^- = \min_{1 \leq i \leq m} v_{ij}$ (第 j 个等级的第 i 个指标的最小量值 v_{ij})， $1 \leq j \leq n$ ，当评价指标为效益型 (越大越好) 指标时，

$$N_1^* = (r_1^*, r_2^*, \dots, r_n^*), N_1^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-) \quad (9)$$

当评价指标为成本型 (越小越好) 指标时，

$$N_2^* = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-), N_2^- = (r_1^*, r_2^*, \dots, r_n^*) \quad (10)$$

式中， N_1^* 和 N_2^* 分别为评价指标为效益型和成本型对应的评价等级物元的 Vague 值 VPIS； N_1^- 和 N_2^- 分别为评价指标为效益型和成本型对应的评价等级物元的 Vague 值 VNIS^[5]。

(2) 计算评价等级物元到理想物元的距离

确定了各指标的权重和理想解后，便可根据 Vague 集 (值) 的相似度计算各评价等级物元与 VPIS 和 VNIS 的距离^[5]。

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n w_j M_z(R_{nm}, VPIS), i = 1, 2, \dots, m, (11)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n w_j M_z(R_{nm}, VNIS), i = 1, 2, \dots, m, (12)$$

式中， d_i^+ 为评价某个公共交通系统便捷性物元 i 与 VPIS 的加权距离； d_i^- 为评价某个公共交通系统便捷性物元 i 与 VNIS 的加权距离； w_j 为第 j 个评价指标的权重， $i = 1, 2, \dots, m$ 。

(3) 计算评价目标的贴进度

计算完所有的 d_i^+ 和 d_i^- 之后，用它们计算评价目标的相对贴进度 $\sigma(N_i)$ ：

$$\sigma(N_i) = \frac{d_i^+}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (13)$$

(4) 确定公共交通系统便捷性的评价等级

$\sigma(N_i)$ 越大，表示某个公共交通系统的便捷性

越接近理想解 N^* 和越远离负理想解 N^- ，因此根据贴进度原则，可以确定公共交通系统的便捷性评价等级。

3 重庆市主城区公共交通便捷性评价

3.1 重庆市主城区公共交通便捷性评价指标取值

按照文献 [9] 中关于公共交通系统评价标准的等级划分，结合重庆市山城的交通和出行特点，确定重庆市主城区公共交通便捷性评价标准，见表 1。

表 1 重庆市主城区公共交通便捷性评价标准

Tab. 1 Evaluation criterion of public transport convenience of

Chongqing main urban area

指标	等级				
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
公交车万人拥有量 C_{11}/veh	≥ 13	[10,13)	[7,10)	[5,7)	[0,5)
公交站点覆盖率 $C_{12}/\%$	> 90	[85,90)	[80,85)	[70,80)	< 70
公交线网密度 $C_{13}/$ ($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$)	≥ 4.0	[3.3,4.0)	[2.6,3.3)	[1.9,2.6)	[0.0,1.9)
平均换乘系数 C_{14}	[1.0,1.1)	[1.1,1.2)	[1.2,1.4)	[1.4,1.5)	≥ 1.5
平均换乘距离 C_{15}/m	≤ 100	(100,150]	(150,200]	(200,250]	≥ 250
公交线路重复系数 C_{16}	< 1.15	[1.15,1.25]	[1.25,1.35]	[1.35,1.45)	≥ 1.45
辅助设施的完备性 C_{17}	满足 5 项	满足 4 项	满足 3 项	满足 2 项	少于 2 项
公交日服务时间 C_{18}/h	[18,24]	[16,17]	[12,15]	[4,11]	[0,3]
平均运送速度 $C_{21}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	≥ 31	[28,31)	[25,28)	[22,25)	[0,22)
乘客平均出行耗时 C_{22}/min	< 25	[25,30)	[30,40)	[40,50)	> 50
行车准点率 $C_{23}/\%$	> 95	[90,95)	[85,90)	[80,85)	< 80
公交专用道设置率 $C_{24}/\%$	≥ 20	[16,20)	[12,16)	[8,12)	[0,8)
平均发车间隔 C_{25}/min	≤ 5	(5,10]	(10,30]	(30,60]	> 60
非直线系数 C_{26}	< 1.3	[1.3,1.4)	[1.4,1.5)	[1.5,1.6)	≥ 1.6

综合各项评价指标数据，2013 年底重庆市主城区公共交通便捷性的具体各项指标数值详见表 2。

3.2 重庆主城区公共交通评价物元的标准化

运用 Vague 语言集的 5 个等级划分法对重庆主城区公共交通定性评价指标进行等级划分。对于定量评价指标，首先给出评价物元的节域，再进行归一化处理。在归一化处理时，成本型 (越小越好) 指标和效益型 (越大越好) 指标分别根据式 (2)、式 (3) 进行。得到 $N_1 \sim N_5$ 以及重庆主城区公共交通系统实测数据 X 的矩阵 R_{nm} ，见表 3。

表2 2013年底重庆主城区便捷性指标

Tab. 2 Indicators of public transport convenience of Chongqing main urban area by the end of 2013

指标	数值	等级
公交车万人拥有量 C_{11}/veh	13.5	1级
公交站点覆盖率 $C_{12}/\%$	78.4	4级
公交线网密度 $C_{13}/(km \cdot km^{-2})$	3.31	3级
平均换乘系数 C_{14}	1.2	3级
平均换乘距离 C_{15}/m	138	2级
公交线路重复系数 C_{16}	4.27	5级
辅助设施的完备性 C_{17}	满足5项	1级
公交日服务时间 C_{18}/h	24	1级
平均运送速度 $C_{21}/(km \cdot h^{-1})$	21.6	4级
乘客平均出行时耗 C_{22}/min	34	3级
行车准点率 $C_{23}/\%$	91	2级
公交专用道设置率 $C_{24}/\%$	6.06	5级
平均发车间隔 C_{25}/min	10	2级
非直线系数 C_{26}	1.77	5级

表3 各评价等级和实测数据的 Vague 值表示

Tab. 3 Vague set of each evaluation grade and measured data

	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	X
C_{11}	(0.7,1)	(0.55,0.7)	(0.4,0.55)	(0.3,0.4)	(0,0.3)	(0.71,0.71)
C_{12}	(0.9,1)	(0.83,0.9)	(0.78,0.83)	(0.65,0.78)	(0,0.65)	(0.76,0.76)
C_{13}	(0.8,1)	(0.65,0.8)	(0.5,0.65)	(0.4,0.5)	(0,0.4)	(0.65,0.65)
C_{14}	(0.9,1)	(0.8,0.9)	(0.65,0.8)	(0.53,0.65)	(0,0.53)	(0.82,0.82)
C_{15}	(0.9,1)	(0.86,0.9)	(0.8,0.86)	(0.78,0.8)	(0,0.78)	(0.85,0.85)
C_{16}	(0.85,1)	(0.7,0.85)	(0.65,0.7)	(0.55,0.65)	(0,0.55)	(0.55,0.55)
C_{17}	(0.8,1)	(0.65,0.8)	(0.55,0.65)	(0.3,0.55)	(0,0.3)	(1,1)
C_{18}	(0.75,1)	(0.55,0.75)	(0.45,0.55)	(0.25,0.45)	(0,0.25)	(1,1)
C_{21}	(0.65,1)	(0.55,0.65)	(0.5,0.55)	(0.46,0.5)	(0,0.46)	(0.45,0.45)
C_{22}	(0.77,1)	(0.72,0.77)	(0.63,0.72)	(0.54,0.63)	(0,0.54)	(0.65,0.65)
C_{23}	(0.95,1)	(0.89,0.95)	(0.85,0.89)	(0.78,0.85)	(0,0.78)	(0.91,0.91)
C_{24}	(0.8,1)	(0.65,0.8)	(0.5,0.65)	(0.35,0.5)	(0,0.35)	(0.25,0.25)
C_{25}	(0.92,1)	(0.85,0.92)	(0.75,0.85)	(0.53,0.75)	(0,0.53)	(0.82,0.82)
C_{26}	(0.73,1)	(0.65,0.73)	(0.55,0.65)	(0.45,0.55)	(0,0.45)	(0.25,0.25)

由于评价物元本来就是区间值,而且经过归一化处理之后所有取值都在0到1的范围内,与Vague值一一对应。

根据式(8),将 $N_1 \sim N_5$ 以及重庆主城公共交通系

统实测数据 X 的矩阵 R_{nm} 改写为评价等级对指标的适合度物元

	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	X
C_{11}	0.75	0.35	0.04	-0.12	-0.58	0.63
C_{12}	1.15	1.05	0.94	0.76	-0.32	0.91
C_{13}	0.96	0.71	0.43	0.12	-0.48	0.61
C_{14}	1.15	0.92	0.62	0.29	-0.53	0.88
C_{15}	1.09	1.03	0.92	0.84	-0.45	1.01
C_{16}	1.05	0.83	0.61	0.61	-0.42	0.41
$S_{mn} = C_{17}$	0.96	0.61	0.31	-0.17	-0.58	1.25
C_{18}	0.92	0.46	0.18	-0.24	-0.56	1.19
C_{21}	0.72	0.39	0.34	0.22	-0.48	0.21
C_{22}	0.91	0.75	0.56	0.31	-0.56	0.62
C_{23}	1.24	1.2	1.02	0.9	-0.35	1.12
C_{24}	1.01	0.62	0.34	0.04	-0.52	-0.21
C_{25}	1.17	1.01	0.83	0.42	-0.48	0.98
C_{26}	0.83	0.55	0.32	0.16	-0.51	-0.2

根据式(9)、式(10),分别计算效益型(越大越好)指标和成本型(越小越好)指标相对理想物元如下。

$$VPIS = \{(0.62,1), (0.93,1), (0.78,1), (0.91,1), (0.88,1), (0.84,1), (0.79,1), (0.75,1), (0.62,1), (0.72,1), (0.97,1), (0.81,1), (0.92,1), (0.72,1)\}。$$

$$VNIS = \{(0,0.24), (0,0.71), (0,0.42), (0,0.51), (0,0.74), (0,0.58), (0,0.22), (0,0.12), (0,0.45), (0,0.5), (0,0.81), (0,0.32), (0,0.51), (0,0.4)\}。$$

于是,根据式(6)计算得到重庆主城区公交便捷性 Vague 集(值)的相似度量 $M_Z(x_i, VPIS)$ 排序为: $C_{23} > C_{15} > C_{25} > C_{12} = C_{14} = C_{17} > C_{18} > C_{22} > C_{11} > C_{13} > C_{16} > C_{21} > C_{24} > C_{26}; M_W(x_i, VPIS)$ 排序为: $C_{24} > C_{21} > C_{16} > C_{26} > C_{13} > C_{11} > C_{22} > C_{12} = C_{14} > C_{25} > C_{15} > C_{23} > C_{17} = C_{18}。$

在不考虑权重的情况下,通过改进式(13)可以得到各项指标对于最理想情况的相对贴进度,如表4所示。

各项指标对于理想情况的相对贴进度排序为 $C_{17} > C_{18} > C_{23} > C_{15} > C_{25} > C_{12} = C_{14} > C_{22} > C_{11} > C_{13} > C_{16} > C_{21} > C_{26} > C_{24}。$ 因此,辅助设施完备性、公交日服

表4 各项指标相对贴进度由大到小排序

Tab. 4 Indicators of relative closeness degree in descend order

符号	指标	相对贴进度
C_{17}	辅助设施的完备性	0.643
C_{18}	公交日服务时间	0.636
C_{23}	行车准点率	0.633
C_{15}	平均换乘距离	0.62
C_{25}	平均发车间隔	0.611
C_{12}	公交站点覆盖率	0.6
C_{14}	平均换乘系数	0.6
C_{22}	乘客平均出行时耗	0.556
C_{11}	公交车万人拥有量	0.553
C_{13}	公交线网密度	0.548
C_{16}	公交线路重复系数	0.525
C_{21}	平均运送速度	0.48
C_{26}	非直线系数	0.47
C_{24}	公交专用道设置率	0.42

务时间、行车准点率、平均换乘距离等指标得分较高,公交专用道设置率、非直线系数、平均运送速度等指标得分较低。

3.4 确定指标权重

根据结构熵权法^[10]制作了关于城市公共交通便捷性14个指标重要度的调查问卷,发放了184份,有效回收137份,以此作为自由结构熵权法计算的基础,计算得出了14个指标值的权重,如表5所示。

表5 城市公共交通便捷性指标体系权重

Tab. 5 Weights of urban public transport convenience

indicator system

指标	权重	指标	权重
公交车万人拥有量 C_{11}	0.094	公交日服务时间 C_{18}	0.091
公交站点覆盖率 C_{12}	0.081	平均运送速度 C_{21}	0.068
公交线网密度 C_{13}	0.070	乘客平均出行时耗 C_{22}	0.061
平均换乘系数 C_{14}	0.072	行车准点率 C_{23}	0.062
平均换乘距离 C_{15}	0.10	公交专用道设置率 C_{24}	0.049
公交线路重复系数 C_{16}	0.053	平均发车间隔 C_{25}	0.068
辅助设施的完备性 C_{17}	0.082	非直线系数 C_{26}	0.055

3.4 重庆主城区公共交通便捷性总体评价

根据式(11)、式(12)计算各评价等级物元到VPIS和VNIS的距离,如表6所示。

表6 各评价等级到理想解的距离和相对贴进度

Tab. 6 Distance and closeness degree between each evaluation grade and ideal solution

评价等级	d_1^+	d_i^-	相对贴进度
1级	1	0.61	0.63
2级	0.91	0.61	0.59
3级	0.84	0.61	0.56
4级	0.79	0.61	0.49
5级	0.58	0.61	0.38
实际值	0.84	0.61	0.54

通过Vague复合物元评价模型的计算,根据式(13)计算得到1级到5级相对贴进度排序为 $\sigma(N_1) > \sigma(N_2) > \sigma(X) > \sigma(N_3) > \sigma(N_4) > \sigma(N_5)$,而重庆市2013年公共交通便捷性的数据通过计算得到的贴进度 $\sigma(X) = 0.54$,略小于 $\sigma(N_2)$ 且明显大于 $\sigma(N_3)$, $\sigma(X)$ 最接近 $\sigma(N_2)$,于是,可以确定重庆主城区公共交通便捷性评价等级为2级。

4 结论

在选择用于评价城市公共交通出行便捷性的14个评价指标的基础上,构建了其2层次评价指标体系,并建立了基于理想解的Vague物元评价模型。通过对重庆主城区2013年公共交通便捷性评价的运用,找出了影响其公共交通便捷性的指标为辅助设施完备性、公交日服务时间、行车准点率、平均换乘距离、公交专用道设置率、非直线系数、平均运送速度等,从而为改进重庆主城区公共交通便捷性找出了决策依据。

参考文献:

References:

- [1] ALTER C H. Evaluation of Public Transit Service: The Level-of-service Concept [J]. Transportation Research Record, 1976, 606: 37-40.
- [2] SHOKE R A. Evaluation of Service Levels of Differentiate Logiest of Buses in Two or Outs of Calcutta [R]. New Delhi: Internet Relay Chat, 1994.
- [3] 张驰. 天津中心城区公交便捷度研究 [D]. 天津: 天津师范大学, 2012.
ZHANG Chi. Research on Convenience of Public Transport in Central District Tianjin [D]. Tianjin: Tianjin Normal University, 2012.
- [4] 傅志军. 宝鸡市公交便捷度分析 [J]. 宝鸡文理学院

- 学报: 自然科学版, 2003, 23 (3): 228 - 230.
- FU Zhi-jun. Analysis on Bus Convenient Level in Baoji City [J]. Journal of Baoji University of Arts and Sciences: Natural Science Edition, 2003, 23 (3): 228 - 230.
- [5] 周晓光, 高学东, 武森. 基于理想解的 Vague 物元决策方法及其应用 [J]. 北京科技大学学报, 2009, 31 (1): 123 - 127.
- ZHOU Xiao-guang, GAO Xue-dong, WU Sen. Method and Application of Vague Matter-element Decision Making Based on Ideal Solution [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2009, 31 (1): 123 - 127.
- [6] 周晓光, 张强, 胡望斌. 基于 Vague 集的 Topsis 方法模型 [J]. 系统工程理论方法应用, 2005, 14 (6): 537 - 541.
- ZHOU Xiao-guang, ZHANG Qiang, HU Wang-bin. Research on TOPSIS Methods Based on Vague Set Theory [J]. Systems Engineering-Theory Methodology Applications, 2005, 14 (6): 537 - 541.
- [7] 周晓光, 谭春桥, 张强. 基于 Vague 集的决策理论方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- ZHOU Xiao-guang, TAN Chun-qiao, ZHANG Qiang. Theoretical Method of Decision-making Based on Vague Set [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [8] 夏露, 邢清华, 范海雄. Vague 物元及熵权的空袭目标威胁评估 [J]. 火力与指挥控制, 2012, 37 (2): 84 - 88.
- XIA Lu, XING Qing-hua, FAN Hai-xiong. Threat evaluation of Air Attack Targets Based on Vague Matter-element and Entropy Weight [J]. Fire Control & Command Control, 2012, 37 (2): 84 - 88.
- [9] 胡启洲. 城市常规公共交通系统评价方法研究 [D]. 南京: 东南大学, 2008.
- HU Qi-zhou. Research on Evaluation Method of Ordinary Urban Public Transport System [D]. Nanjing: Southeast University, 2008.
- [10] 程启月. 评测指标权重确定的结构熵权法 [J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30 (7): 1225 - 1228.
- CHENG Qi-yue. Structure Entropy Weight Method to Confirm the Weight of Evaluating Index [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2010, 30 (7): 1225 - 1228.

(上接第 118 页)

- ZHANG Qing-wen, CHEN Zhong-lin, HU Ying-kui, et al. Study on the Influence of Lighting Source Color Temperature on Visual Performance in Tunnel and Road Lighting [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2008, 19 (2): 24 - 29.
- [6] 张青文, 杨春宇, 陈仲林, 等. 用视觉功效法探究适用于道路照明的新型光源 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, 37 (6): 781 - 785.
- ZHANG Qing-wen, YANG Chun-yu, CHEN Zhong-lin, et al. A Research of New Light Source for Road Lighting Based on Vision Function Method [J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2009, 37 (6): 781 - 785.
- [7] 李百川. 汽车驾驶员适宜性检测及评价 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- LI Bai-chuan. Vehicle Driver's Driving Suitability Test and Evaluation [M]. Beijing: China Communications Press, 2003.
- [8] LEWIN I, FIES L C. Lamp Color Visibility in Outdoor Lighting Design [C] //1999 Conference of the Institution of Lighting Engineers. Portsmouth, England: Institution of Lighting Engineers, 1999.
- [9] 正木光. 道路照明 [M]. 王大同, 等译. 北京: 人民交通出版社, 1982.
- HIKARU M. Road Lighting [M]. WANG Da-tong, et al. translated. Beijing: China Communications Press, 1982.
- [10] 日本照明学会. 照明手册 [M]. 李农, 等译. 北京: 科学出版社, 2005.
- Japan Illuminating Engineering Society. Lighting Handbook [M]. LI Nong, et al. translated. Beijing: Science Press, 2005.