

# 基于乘客感知的公交车线路服务质量评价模型

刘莹<sup>1,2</sup>, 于淼<sup>3</sup>, 刘阳<sup>2</sup>

(1. 东北大学工商管理学院, 辽宁沈阳 110819; 2. 沈阳城市建设学院管理系, 辽宁沈阳 110168;

3. 沈阳建筑大学管理学院, 辽宁沈阳 110016)

**摘要:** 针对传统公交车服务质量评价方法的局限性, 提出基于乘客感知的普适性因素权值分析方法. 首先以相关乘客作为专家并分组, 建立基于乘客感知视角的专家权重确定方法, 得到专家权重及指标综合权重. 然后以上述多组数据作为先验样本进行 BP 神经网络的训练、测试与验证, 从而获得可供推广的城市公交线路服务质量评价 AHP-BP 神经网络模型. 最后以沈阳市某条公交线路为例展开实证研究, 结果表明该模型在充分反映乘客感知服务质量因素的同时, 降低了主观评价的随意性, 给出了特定公交线路服务质量改进方向.

**关键词:** 改进 AHP; BP 神经网络; 影响因素分析; 乘客感知; 公交车线路

**中图分类号:** U 121      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-3026(2019)05-0750-06

## Evaluation Model of Bus Route Service Quality Based on Passengers Perceptions

LIU Ying<sup>1,2</sup>, YU Miao<sup>3</sup>, LIU Yang<sup>2</sup>

(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Department of Management, Shenyang Urban Construction University, Shenyang 110168, China; 3. School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110016, China. Corresponding author: YU Miao, E-mail: 182158874@qq.com)

**Abstract:** Aiming to solve the limitation of the evaluation method of traditional bus route service quality, a universal weight analysis method based on passengers perceptions is proposed. Firstly, a weight determination method is established based on passengers perceptions in order to determine the weight of experts and the comprehensive weight of each group. Secondly, the quality evaluation AHP-BP network model of urban bus route service can be acquired by training, testing and verifying with the above data as prior samples. Finally, an empirical study is launched on a certain bus route in Shenyang, and the results demonstrate that the model reflect passenger perceptions adequately as well as reduce the randomness of subjective evaluation which can provide an improved direction for a bus route service.

**Key words:** improved AHP; BP neural network; analysis of influencing factors; passengers perceptions; bus route

近年来,随着公共设施的不断完善,我国城市公共交通也进入了快速发展阶段.从吸引公交出行者角度,在考虑乘客感知的服务质量影响因素方面,现有研究从不同视角进行了分析.张兵等<sup>[1]</sup>用乘客便利感知质量、乘车环境质量、运营服务质量等三个维度衡量城市公交服务质量,并运用结构方程模型建立了常规公交服务质量衡量

模型. Luigi 等<sup>[2]</sup>给出了公共交通系统期望的服务质量与感知的服务质量的区别,结果表明,等待时间、清洁度及舒适度是用户最看重的公交服务变量. Hensher<sup>[3]</sup>将评价方法用于比较不同司乘人员服务水平以及识别公交服务质量中潜在的具有不同特征属性的乘客群体集合,并对这些集合进行相对重要程度判断. Mohammad 等<sup>[4]</sup>提出了一个

主观和客观相结合的多层次框架来衡量公共交通服务水平.虽然部分学者提出从乘客的角度出发构建模型,但其构建的仍是由专家或学者给出的通用性模型,而不是由经常乘坐该条线路的乘客给出的仅适用于该线路的有针对性的模型.

在评价方法选择方面,Hensher 等<sup>[5]</sup>对服务质量的量化方法进行了研究,并对公交运营商内部的服务水平进行了比较.Armando 等<sup>[6]</sup>提出了通过模糊逻辑和层次分析法(AHP)集成 IC 评估模型.张重阳等<sup>[7]</sup>针对多个相同类型的服务项目的服务质量评价问题,给出了一种基于顾客群体语言评价信息的服务质量评价方法.Ansah 等<sup>[8]</sup>论述了多准则决策(MCDM)和 AHP 法结合作为一种最流行的群体决策方法.Hu 等<sup>[9-10]</sup>提出了在 AHP 法和 BP 神经网络基础上的评价模型,该模型可以提高收敛速度、简化计算过程并保证结果的可靠性.上述研究提出了多种服务质量评价模型,但目前并没有将去除专家主观性的改进 AHP 法与 BP 神经网络方法结合用于公交服务质量评价的相关研究.

综上所述,目前已有很多学者从不同角度选取了多种指标来构建城市公交服务质量模型,并在此基础上采用多种方法对线路进行评价,但鲜有报导就某一条线路请乘客作为评价专家,将乘客感知作为切入点来构建该线路的公交质量评价体系.因此,本文从顾客感知的角度出发,考虑了顾客感知的主观性对指标客观性的影响,采用有效降低主观性的改进 AHP 法分析特定线路城市公交服务质量影响因素,并建立了 BP 神经网络模型.

## 1 评价策略及方法

为使评价能够更加直观地反映乘客感知,本文以一组乘客作为专家来进行线路服务质量评价.采用传统 AHP 法计算群体决策的指标权重时,当组内某一类型的打分专家由于具有相近的个人感知,而对某些评价指标有极强的个人感知偏好时,该专家会通过提高自身关注的指标权重的方式使该指标权重增加,导致整个指标体系权重的计算有失公平性.因此,本文参照文献[10],在传统 AHP 法的基础上,考虑了组内群体专家由于感知相近而造成的评价主观性,根据专家各自给出的判断矩阵,将组内专家评分所得 AHP 指标权重以及该专家的专家权重综合考虑,确定各指标综合权重.该方法在充分考虑群体乘客感知的

基础上,对组内不同群体的诉求进行了更为有效的分配,兼顾了公平性.

### 1.1 计算基于乘客感知的 AHP 指标权重

选取  $m$  个指标  $x_1, x_2, \dots, x_m$  构成的多指标公交线路服务质量评价体系,采用传统 AHP 法计算各专家给出的指标权重.

### 1.2 基于乘客感知计算专家权重

选取  $n$  个不同群体专家  $o_1, o_2, \dots, o_n$  及  $m$  个指标  $x_1, x_2, \dots, x_m$  构成的多指标评价系统中,设  $x_{il} = x_i(o_l)$  ( $i = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, m$ ) 为专家  $o_l$  在指标  $x_i$  下的 AHP 指标权重.权重矩阵可表示为

$$X = [x_{il}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

由 AHP 法定义可知,矩阵  $X$  中的数据均为规范化数据.由某两位专家给出的判断矩阵计算所得指标权重向量(矩阵  $X$  中的行向量)越接近,则说明这两位专家的感知越趋同.基于此,从向量的接近程度角度给出乘客感知相关系数的定义.

**定义 1** 专家  $o_t$  与  $o_k$  ( $t, k = 1, 2, \dots, n$ ) 的乘客感知相关系数:

$$r_{tk} = \frac{\mathbf{x}_t \mathbf{x}_k}{\|\mathbf{x}_t\| \|\mathbf{x}_k\|}.$$

式中:  $\mathbf{x}_t = (x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tm})$ ;  $\mathbf{x}_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{km})$ ;  $\|\mathbf{x}_t\|, \|\mathbf{x}_k\|$  分别为  $\mathbf{x}_t, \mathbf{x}_k$  的模,  $r_{tk} \in [0, 1]$ ,  $r_{tk}$  越大,乘客感知一致性也越大.

**定义 2** 专家  $o_t$  与  $o_k$  ( $t, k = 1, 2, \dots, n$ ) 的净乘客感知系数  $c_{tk} = r_{tk} - (1 - r_{tk}) = 2r_{tk} - 1$ ,代表两位专家的共同诉求与相反诉求相互抵消后所剩余的感知诉求相对值,不同专家之间的一致性程度可以由净乘客感知系数来衡量.

假设 1:无论是通过利用自身感知优势还是其他专家的感知优势,评价主体  $o_t$  的最终目标是将自身感知优势最大化.其规划模型可以表示为

$$\left. \begin{aligned} & \max \sum_{k=1}^m c_{tk} \omega_k^{(t)}, \\ & \text{s. t. } 0.5^{m-1} \leq \omega_k^{(t)} \leq 0.5; \sum_{k=1}^m \omega_k^{(t)} = 1. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

求解式(1)中的规划模型可得到在  $o_t$  视角下,对其最有利的权向量为

$$\boldsymbol{\omega}^{(t)} = (\omega_1^{(t)}, \omega_2^{(t)}, \dots, \omega_n^{(t)}), \omega_k^{(t)} = \omega_{kt}. \quad (2)$$

所有专家的权评价矩阵为

$$W = (\boldsymbol{\omega}^{(1)}, \boldsymbol{\omega}^{(2)}, \dots, \boldsymbol{\omega}^{(n)}) = [\omega_{kt}]_{n \times n} =$$

$$\begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \cdots & \omega_{1n} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \cdots & \omega_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \omega_{m1} & \omega_{m2} & \cdots & \omega_{mn} \end{bmatrix}.$$

(3)

寻找与向量  $\omega^{(1)}, \omega^{(2)}, \dots, \omega^{(n)}$  夹角之和最小的向量  $\omega^*$ , 则  $\omega^*$  可作为综合考虑所有专家观点后的最终综合权重, 即为规划式(4)的最优解:

$$\max \sum_{i=1}^n [(\omega^*)^T \omega^{(i)}]^2, \quad \text{s. t. } \|\omega\|_2 = 1.$$

(4)

$$\forall y \in \mathbf{R}^n;$$

$$\max_{\|\omega\|_2=1} \sum_{i=1}^n [(\omega^*)^T \omega^{(i)}]^2 = \lambda_{\max}.$$

(5)

式中:  $\lambda_{\max}$  为实对称矩阵  $\mathbf{W}\mathbf{W}^T$  的最大特征根;  $\omega^*$  为  $\lambda_{\max}$  对应于  $\mathbf{W}\mathbf{W}^T$  的正特征向量, 且  $\|\omega\|_2 = 1$ . 最后确定群体评价中各专家权重  $\omega^*$ .

1.3 计算各指标综合权重

将专家权重与 AHP 指标权重进行加权平均, 即可得到指标综合权重  $U_l$ :

$$U_l = \omega^* X = \sum_{i=1}^n \omega_i x_{li}.$$

(6)

其中:  $X$  为专家  $o_i$  在指标  $x_l$  下的 AHP 指标权重矩阵.

2 公交线路服务质量评价实证分析

2.1 公交线路服务质量评价体系建立

2.1.1 构建公交线路服务质量评价指标体系

目前, 公交线路服务质量评价尚无全国或地区的规范性指标. 为定量开展综合评价, 本文依据《城市公共交通条例(征求意见稿)》及《城市公共交通工程术语标准(CJJ/T119—2008)》等城市道路交通规范提出的指标进行以乘客感知为出发点的指标筛选. 本文选取的指标体系中包含 4 个一级指标(安全性、舒适性、便捷性及可靠性), 17 个二级指标(车辆新度系数、应急设备配备率、车辆责任事故死亡率、候车环境、道路环境、车内环境、满载率、车内信息化水平、乘客投诉率、步行至站点距离、换乘距离、平均候车时间、公交专用车道设置率、公交站场至附近商业距离、站牌清晰准确率、车辆准点发车率、报站及时准确率).

2.1.2 计算公交线路评价指标 AHP 指标权重

参照前文定义及方法, 选取经常乘坐某条线路的一组 10 位乘客作为专家, 令该组专家按照传统 AHP 法对上述体系中的各项指标就该条线路进行对比评价.

选取的 10 位专家采用传统 AHP 法得出的乘客感知公交线路服务质量指标 AHP 指标权重如表 1 所示.

表 1 乘客感知指标 AHP 指标权重值  
Table 1 AHP weight index of passenger perceptions

| 指标 | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | 0.014 7 | 0.023 1 | 0.054 4 | 0.025 5 | 0.015 3 | 0.032 4 | 0.022 7 | 0.013 5 | 0.019 8 | 0.024 4 |
| 2  | 0.024 9 | 0.023 8 | 0.043 7 | 0.037 9 | 0.026 2 | 0.028 8 | 0.057 6 | 0.026 8 | 0.084 4 | 0.035 9 |
| 3  | 0.104 8 | 0.044 8 | 0.089 7 | 0.088 7 | 0.067 2 | 0.067 4 | 0.057 7 | 0.070 4 | 0.045 1 | 0.094 4 |
| 4  | 0.009 2 | 0.016 5 | 0.013 8 | 0.027 6 | 0.043 3 | 0.025 6 | 0.015 5 | 0.055 1 | 0.087 7 | 0.027 5 |
| 5  | 0.021 8 | 0.018 6 | 0.024 6 | 0.018 9 | 0.011 8 | 0.032 1 | 0.019 5 | 0.037 4 | 0.073 3 | 0.037 6 |
| 6  | 0.056 4 | 0.043 6 | 0.043 8 | 0.037   | 0.084 4 | 0.035 5 | 0.042 1 | 0.043 6 | 0.079 2 | 0.043 8 |
| 7  | 0.099 4 | 0.089 9 | 0.099 8 | 0.074 4 | 0.104 3 | 0.084 5 | 0.086 5 | 0.098 9 | 0.079 1 | 0.102 2 |
| 8  | 0.013 2 | 0.023 2 | 0.032 4 | 0.042 3 | 0.032 2 | 0.021 3 | 0.013 2 | 0.013 2 | 0.013 2 | 0.013 2 |
| 9  | 0.035 9 | 0.025 7 | 0.023 3 | 0.013 4 | 0.043 4 | 0.051 3 | 0.041 6 | 0.035 6 | 0.033 3 | 0.029 5 |
| 10 | 0.142 2 | 0.135 6 | 0.177 6 | 0.107 9 | 0.078 8 | 0.135 5 | 0.129 5 | 0.125 1 | 0.086 3 | 0.122 2 |
| 11 | 0.225 4 | 0.198 9 | 0.156 6 | 0.106 6 | 0.107 9 | 0.149 4 | 0.153 3 | 0.143 7 | 0.085 4 | 0.125 5 |
| 12 | 0.097 1 | 0.117 3 | 0.087 9 | 0.134 2 | 0.117 1 | 0.107 3 | 0.105 3 | 0.160 7 | 0.084 7 | 0.123 1 |
| 13 | 0.059 1 | 0.068 1 | 0.035 5 | 0.098 9 | 0.109 3 | 0.035 2 | 0.035 5 | 0.013 9 | 0.073 9 | 0.032 6 |
| 14 | 0.035 1 | 0.043 2 | 0.043 7 | 0.074 3 | 0.053 8 | 0.052 6 | 0.042 7 | 0.017 6 | 0.068 6 | 0.022 9 |
| 15 | 0.005 8 | 0.013 7 | 0.019 8 | 0.025 2 | 0.042 7 | 0.023 3 | 0.062 2 | 0.038 8 | 0.026 1 | 0.031 7 |
| 16 | 0.039 8 | 0.057 8 | 0.038 9 | 0.052 1 | 0.041 7 | 0.083 3 | 0.089 9 | 0.073 5 | 0.048 8 | 0.081 3 |
| 17 | 0.015 2 | 0.056 2 | 0.014 5 | 0.035 1 | 0.020 6 | 0.034 5 | 0.025 2 | 0.032 2 | 0.011 1 | 0.052 2 |

2.1.3 计算专家权重

按照 AHP 法的计算方法, 表 1 中得到的评价

指标数据均为标准化数值.

首先, 根据定义 1 计算专家之间的乘客感知

相关系数  $r_{tk}$ , 则该 10 位专家的乘客感知相关系数矩阵:

$R =$

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | 0.967 | 0.957 | 0.890 | 0.878 | 0.948 | 0.931 | 0.910 | 0.797 | 0.926 |
| 0.967 | 1     | 0.943 | 0.921 | 0.898 | 0.968 | 0.952 | 0.934 | 0.821 | 0.941 |
| 0.957 | 0.943 | 1     | 0.907 | 0.864 | 0.962 | 0.945 | 0.916 | 0.827 | 0.942 |
| 0.890 | 0.921 | 0.907 | 1     | 0.953 | 0.930 | 0.912 | 0.904 | 0.881 | 0.932 |
| 0.878 | 0.898 | 0.864 | 0.953 | 1     | 0.898 | 0.895 | 0.889 | 0.906 | 0.904 |
| 0.948 | 0.968 | 0.962 | 0.930 | 0.898 | 1     | 0.981 | 0.963 | 0.861 | 0.976 |
| 0.931 | 0.952 | 0.945 | 0.912 | 0.895 | 0.981 | 1     | 0.954 | 0.859 | 0.965 |
| 0.910 | 0.934 | 0.916 | 0.904 | 0.889 | 0.963 | 0.954 | 1     | 0.850 | 0.978 |
| 0.797 | 0.821 | 0.827 | 0.881 | 0.906 | 0.861 | 0.859 | 0.850 | 1     | 0.859 |
| 0.926 | 0.941 | 0.942 | 0.932 | 0.904 | 0.976 | 0.965 | 0.978 | 0.859 | 1     |

根据定义 2 计算出专家之间的净乘客感知系数  $c_{tk}$ , 则该 10 位专家的净利益相关系数矩阵:

$C =$

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | 0.933 | 0.914 | 0.780 | 0.756 | 0.896 | 0.862 | 0.820 | 0.593 | 0.852 |
| 0.933 | 1     | 0.886 | 0.842 | 0.797 | 0.935 | 0.905 | 0.867 | 0.642 | 0.882 |
| 0.914 | 0.886 | 1     | 0.814 | 0.728 | 0.924 | 0.890 | 0.832 | 0.655 | 0.884 |
| 0.780 | 0.842 | 0.814 | 1     | 0.907 | 0.861 | 0.824 | 0.809 | 0.763 | 0.864 |
| 0.756 | 0.797 | 0.728 | 0.907 | 1     | 0.795 | 0.789 | 0.777 | 0.812 | 0.807 |
| 0.896 | 0.935 | 0.924 | 0.861 | 0.795 | 1     | 0.962 | 0.926 | 0.722 | 0.952 |
| 0.862 | 0.905 | 0.890 | 0.824 | 0.789 | 0.962 | 1     | 0.908 | 0.719 | 0.930 |
| 0.820 | 0.867 | 0.832 | 0.809 | 0.777 | 0.926 | 0.908 | 1     | 0.700 | 0.955 |
| 0.593 | 0.642 | 0.655 | 0.763 | 0.812 | 0.722 | 0.719 | 0.700 | 1     | 0.717 |
| 0.852 | 0.882 | 0.884 | 0.864 | 0.807 | 0.952 | 0.930 | 0.955 | 0.717 | 1     |

其次, 根据式(1)、式(2)以及该组 10 位专家给出的 AHP 指标权重结果, 得出在  $o_i$  视角下, 对  $o_i$  最有利的专家权向量  $\omega^{(i)}$ ; 再根据式(3) 计算该组 10 位专家最终的专家权重评价结果  $\omega^*$ . 通过复杂的数据处理, 该组 10 位专家的专家权重为  $\omega^* = [0.098, 0.122, 0.103, 0.105, 0.101, 0.106, 0.094, 0.071, 0.111, 0.089]$ .

2.1.4 公交线路服务质量评价指标综合权重

仍以该组专家为例, 根据式(6) 可得该公交线路服务质量指标综合权重值. 该指标综合权重尽可能地消除了专家之间的利益关联, 其结果如表 2 所示.

2.2 基于 BP 神经网络的指标权重模型建立

为确定城市公交线路服务质量中的影响因素权重, 本文以改进 AHP 得到的指标综合权重值作为先验样本进行 BP 神经网络的训练, 从而确定当达到稳定状态时 BP 神经网络中的各链接权值, 并保存训练好的 BP 神经网络模型.

2.2.1 权重指标的训练、测试及检验

本文选取经常乘坐上述线路的不同年龄、不同性别、不同职业的 300 位乘客作为专家, 将其随

| 表 2 某公交车线路服务质量指标权重表<br>Table 2 Weight index of a bus route service quality |                          |
|--|--------------------------|
| 准则层<br>(一级指标)/一级权重   | 方案层<br>(二级指标)/综合指标权重     |
| (1) 安全性/0.136 4  | (1) 车辆新度系数/0.025 0       |
|  | (2) 应急设备配备率/0.039 4      |
|  | (3) 车辆责任事故死亡率/0.072 0    |
| (2) 舒适性/0.259 2  | (4) 候车环境/0.031 9         |
|  | (5) 道路环境/0.029 5         |
|  | (6) 车内环境/0.051 3         |
| (3) 便捷性/0.486 8  | (7) 满载率/0.091 3          |
|  | (8) 车内信息化水平/0.022 2      |
|  | (9) 乘客投诉率/0.033 0        |
| (4) 可靠性/0.117 6  | (10) 步行至站点距离/0.123 9     |
|  | (11) 换乘距离/0.145 7        |
|  | (12) 平均候车时间/0.111 9      |
|  | (13) 公交专用车道设置率/0.058 3   |
|  | (14) 公交站场至附近商业距离/0.047 0 |
|  | (15) 站牌清晰准确率/0.028 0     |
|  | (16) 车辆准点发车率/0.059 8     |
|  | (17) 报站及时准确率/0.029 8     |



机分为 30 组,令其以组为单位对表 2 中的指标进行评价,形成判断矩阵.完成数据采集后,采用传统 AHP 法对评价结果进行计算,得出每位专家给出的 AHP 指标权重值.再经过复杂的运算,得到 30 组指标综合权重值.在 BP 神经网络模型构建过程中,将 AHP 指标权重矩阵作为输入变量,将指标综合权重向量作为输出值.为防止过拟合,本文将数据划分成三份,分别为训练集、验证集以及测试集.选取 20 份样本数据作为训练集,5 份作为验证集,5 份作为测试集.

应用 Matlab 神经网络工具箱实现 BP 网络的设计、训练、测试及检验.根据本文的实际城市公交线路服务质量模型及采集到的样本数据,设定网络输入层节点数  $n=17$ ;输出层节点数  $M=1$ ;隐含层节点数  $j=10$ ;训练误差收敛精度目标为  $10^{-5}$ ;检验样本的检查值为 6;训练步长为 1 000 次.

2.2.2 BP 神经网络训练结果

经过 14 步的计算,在第 8 步时检验样本数据的误差平方和 MSE 达到最优值 0.000 007 1,小于目标值  $10^{-5}$ ,满足学习精度要求,即该模型所选参数值符合要求,可利用该网络进行仿真模拟.运用 BP 神经网络模型输出训练的结果方差如图 1 所示.

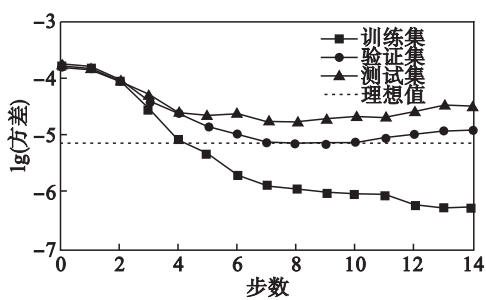


图 1 BP 神经网络训练过程

Fig. 1 The process of training for BP neural network

由图 1 可知,本文所设计的 BP 神经网络 MSE 值较小,在公交线路服务质量评价中属可接受范围,且采用该方法可以明显提升 AHP 法的计算效率.另外,本文虽以某条线路为例,但其改进 AHP-BP 神经网络模型的内部计算逻辑可适用于其他任意线路.因此在需要对某条城市公交线路进行服务质量评价时,只需输入相应的专家评价数据,启动网络即可获得该条线路的服务质量指标综合权重.

2.3 沈阳某公交线路评价实证结果

本文随机抽取了经常乘坐沈阳市某条公交线路的 10 名不同年龄,不同性别,不同职业的乘客

作为专家,应用上述方法对该线路服务质量指标体系进行权重评价.

2.3.1 公交线路服务质量评价指标综合权重计算

由选取的 10 位专家对该条公交线路的指标进行对比评价后,采用改进 AHP-BP 神经网络法,将初始值代入已经训练好的神经网络,得到指标体系的权重向量:

$$U = [0.022\ 4\ 0.031\ 2\ 0.077\ 0.022\ 3\ 0.020\ 5\ 0.056\ 1\ 0.100\ 3\ 0.026\ 9\ 0.029\ 0.127\ 4\ 0.126\ 4\ 0.141\ 8\ 0.089\ 1\ 0.031\ 5\ 0.021\ 4\ 0.048\ 0.028\ 6]^T.$$

2.3.2 线路指标数据收集及预处理

根据调研结果,并经过数据标准化后,该条线路的原始数据经处理后的数据指标值向量为

$$X = [0.716\ 0.733\ 0.841\ 0.847\ 0.904\ 0.756\ 0.854\ 0.898\ 0.884\ 0.813\ 0.866\ 0.748\ 0.877\ 0.806\ 0.788\ 0.855\ 0.711].$$

2.3.3 线路评价值的计算

某条具体公交线路的评价值可根据公交线路评价体系中的指标综合权重以及该线路具体指标值来确定.具体线路评价结果为

$$Z = XU. \tag{7}$$

其中: $X$  为该条线路原始数据经处理后的指标数据向量; $U$  为指标综合权重向量.根据式(7)可得

$$Z = XU = 0.813.$$

基于上述评价结果,沈阳市该条线路公交服务质量综合评分为 0.813 分,综合服务质量较高.为了更加直观地了解各项指标的具体情况,将指标综合权重及各项指标值以图 2 呈现.

如图 2 所示,系列 1 表示乘客感知公交服务质量评价指标综合权重,系列 2 表示该线路各项指标值.从系列 1 中各项指标权重值来看,第 7,10,11,12 项指标所占权重分别为 0.100 3,0.127 4,0.126 4 及 0.141 8,均超过 0.1.因此可判断满载率(第 7 项指标)、步行至站点距离(第 10 项指标)、换乘距离(第 11 项指标)及平均候车时间(第 12 项指标)是乘客感知较为重要的指标.本文考察的沈阳市某线路该四项指标对应值分别为 0.784,0.813,0.866 及 0.748.其中满载率(第 7 项指标)、平均候车时间(第 12 项指标)均低于该条线路综合评分,应予以重视和加强.步行至站点距离(第 10 项指标)与该条线路综合评分持平,需保持和提高.

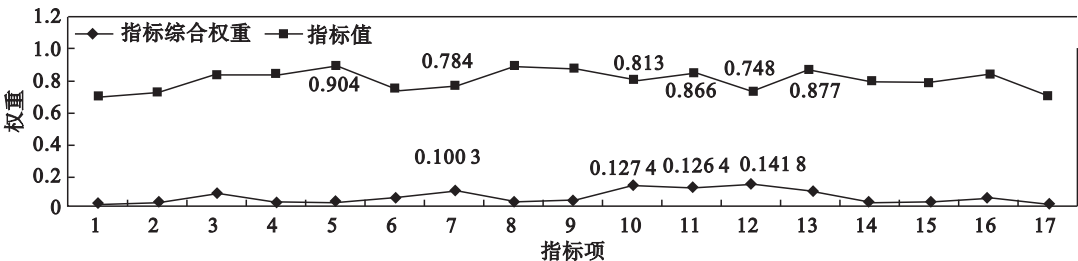


图 2 评价指标权重及各项指标值  
Fig. 2 Evaluation index weight and index value

3 结 论

1)根据具体线路,选取不同群体乘客作为样本,考虑不同类型乘客的相关性,得到的最终权重计算更加合理.

2)将本文方法应用于沈阳市某条公交线路的实际评价结果显示,该线路的满载率、步行至站点距离、换乘距离及平均候车时间所占权重分别为 0.100 3,0.127 4,0.126 4 及 0.141 8,均超过 0.1,为乘客感知的较为重要的指标.

3)沈阳市被评价线路公交服务质量综合评分为 0.813 分,上述较重要的四项指标对应值分别为 0.784,0.813,0.866 及 0.748. 其中满载率和平均候车时间均低于该条线路综合评分,应予以重视和加强. 步行至站点距离与该条线路综合评分持平,需保持和提高.

参考文献:

[ 1 ] 张兵,曾明华,陈秋燕,等. 基于 SEM 的城市公交服务质量—满意度—忠诚度研究[ J ]. 数理统计与管理,2016,35 ( 2 ):198 – 205.  
( Zhang Bing, Zeng Ming-hua, Chen Qiu-yan, et al. Study of public transport service quality—satisfaction—loyalty based on structural equation modeling [ J ]. *Journal of Applied Statistics and Management*, 2016, 35 ( 2 ): 198 – 205. )

[ 2 ] Luigi D, Angel I. The quality of service desired by public transport users[ J ]. *Transport Policy*, 2011, 18 ( 1 ): 217 –

227.

[ 3 ] Hensher D. Developing a service quality index in the provision of commercial bus contracts [ J ]. *Research in Transportation Economics*, 2003, 18 ( 6 ): 277 – 298.

[ 4 ] Mohammad N H, Yaser E H, Kamran A. A multi-dimensional framework for evaluating the transit service performance[ J ]. *Transportation Research Part A*, 2013, 41 ( 1 ): 47 – 61.

[ 5 ] Hensher P S, Philip B. Service quality—developing a service quality index in the provision of commercial bus contracts [ J ]. *Transportation Research Part A*, 2003, 13 ( 6 ): 499 – 517.

[ 6 ] Armando C, Roberta C, Tamara M. Using fuzzy AHP to manage intellectual capital assets; an application to the ICT service industry [ J ]. *Expert Systems with Applications*, 2013, 40 ( 9 ): 3747 – 3755.

[ 7 ] 张重阳,樊治平,于超,等. 基于顾客群体语言评价信息的服务质量评价方法[ J ]. 东北大学学报( 自然科学版 ), 2014, 35 ( 11 ): 1655 – 1658.  
( Zhang Chong-yang, Fan Zhi-ping, Yu Chao, et al. Service quality evaluation method based on customers' linguistic assessment information [ J ]. *Journal of Northeastern University ( Natural Science )*, 2014, 35 ( 11 ): 1655 – 1658. )

[ 8 ] Ansah R H, Sorooshian S, Mustafa B S. Analytic hierarchy process decision making algorithm [ J ]. *Global Journal of Pure & Applied Mathematics*, 2015, 11 ( 4 ): 2403 – 2410.

[ 9 ] Hu C. Application of E-learning assessment based on AHP-BP algorithm in the cloud computing teaching platform[ J ]. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 2016, 11 ( 8 ): 27 – 32.

[ 10 ] 程波,贾国柱. 改进 AHP – BP 神经网络算法研究——以建筑企业循环经济评价为例[ J ]. 管理评论, 2015, 27 ( 1 ): 36 – 47.  
( Cheng Bo, Jia Guo-zhu. Research on improved AHP-BP neural network algorithm—construction companies' circular economy evaluation [ J ]. *Management Review*, 2015, 27 ( 1 ): 36 – 47. )