

基于 AHP — FCA 的地铁服务水平评价

涂子学 张 年

(西南交通大学交通运输与物流学院)

摘 要: 地铁服务水平反映了运输企业满足旅客出行需求的程度, 如何科学的对其进行评价成为亟需解决的问题。首先建立了一套评价指标体系, 从安全、迅速、准时、舒适、方便、经济和换乘效率七个方面构建一级指标, 根据各指标的具体含义构建二级指标。然后引入 AHP 层次分析模型和 FCA 模糊综合评价模型, 将两者联合建立对总目标的综合评价模型。最后通过对成都市地铁 1 号线服务水平评价的实践, 检验 AHP — FCA 地铁服务水平评价模型的实用性与合理性。

关键词: 地铁; 服务水平; 指标体系; 层次分析法; 模糊综合评价

中图分类号: U415.1

文献标识码: C

文章编号: 1008-3383(2014)10-0167-03

1 地铁服务水平评价指标体系建立

地铁服务水平反映了运输企业满足旅客出行需求的程度, 可从安全性、迅速性、准时性、舒适性、方便性、经济性、满意度这 7 个方面进行评价。其中安全性可从安全行车间隔里程、安全行车间隔时间两个方面来评价, 迅速性可从平均出行速度、平均出行时间两个方面来评价, 准时性可从平均行车准点率、平均行车延误两个方面来评价, 舒适性可从高峰小时满载率、平峰小时满载率两个方面来评价, 方便性可从换乘系数、平均换乘时间、平均到站时间、平均候车时间四个方面来评价, 经济性可从交通费率、平均出行次数费用两个方面来评价, 满意度可从顾客评价指数、满意率两个方面来评价。据此, 建立地铁服务水平评价指标体系如表 1 所示。

表 1 地铁服务水平评价指标体系表

一级指标	二级指标	指标来源
安全性 X_1	安全行车间隔里程 x_{11}	单位内部统计
	安全行车间隔时间 x_{12}	单位内部统计
迅速性 X_2	平均出行速度 x_{21}	站点实地统计
	平均出行时间 x_{22}	站点实地统计
准时性 X_3	平均行车准点率 x_{31}	站点实地统计
	平均行车延误 x_{32}	站点实地统计
舒适性 X_4	高峰小时满载率 x_{41}	上车调查
	平峰小时满载率 x_{42}	上车调查
方便性 X_5	换乘系数 x_{51}	问卷调查
	平均换乘时间 x_{52}	问卷调查
	平均到站时间 x_{53}	问卷调查
	平均候车时间 x_{54}	问卷调查
经济性 X_6	交通费率 x_{61}	问卷调查
	平均出行次数费用 x_{62}	问卷调查
满意度 X_7	顾客评价指数 x_{71}	问卷调查
	满意度 x_{72}	问卷调查

2 评价模型与方法

2.1 层次分析法和模糊综合评判法介绍

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 根据问题的

性质和要达到的总目标, 将问题分解为不同的组成因素, 并按照因素间的相互关联影响以及隶属关系将因素按不同层次聚集组合, 形成一个多层次的分析结构模型, 从而最终使问题归结为最低层 (供决策的方案、措施等) 相对于最高层 (总目标) 的相对重要权值的确定或相对优劣次序的排定。模糊综合评判法 (Fuzzy Comprehensive Assessment, FCA) 就是应用模糊变换原理和最大隶属度原则综合考虑被评事物或其属性的相关因素, 进而对某事物进行等级或类别评价。本论文将在层次分析法确定各指标权重的基础上, 引入模糊数学中的模糊综合评价法来对地铁服务水平评价进行研究。

2.2 基于 AHP — FCA 的地铁服务水平评价模型构建

2.2.1 建立评价递阶层次结构

根据建立的地铁服务水平评价指标体系, 以地铁服务水平的评价结果为目标层, 一级指标为中间准则层, 二级指标为指标层建立评价递阶层次结构。

2.2.2 构造判断矩阵

针对上一层的某因素, 本层次与之有关的因素两两之间相对重要性的比较构成判断矩阵。矩阵中元素 a_{ij} 的值采取 1~9 标度法确定: 当因素 i 与因素 j 同等重要时 $a_{ij} = 1$; 当因素 i 比因素 j 稍微重要时 $a_{ij} = 3$; 当因素 i 比因素 j 重要一些时 $a_{ij} = 5$; 当因素 i 比因素 j 重要得多时 $a_{ij} = 7$; 当因素 i 比因素 j 极端重要时 $a_{ij} = 9$; 如果属于两者之间, 则用 2、4、6 给予评分, 其中 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ 。

对于地铁服务水平, 用 a_{ij} 表示一级指标 X_i 相对于 X_j 的重要性, 则各一级指标对于目标层的相对重要性判断矩阵建立如下:

$$W = [a_{ij}]_{7 \times 7}$$

用 a_{imn} 表示二级指标 x_{im} 相对于 X_i 对一级指标 X_i 的重要性, 对于各一级指标安全性、迅速性、准时性、舒适性、方便性、经济性、满意度 (X_1, X_2, \dots, X_7), 相对应的二级指标 x_{ij} ($i = 1, \dots, 7; j = 1, \dots, k_i; k_i = X_i$ 对应的二级指标数量) 相对重要性判断矩阵建立如下:

$$W_i = [a_{imn}]_{k_i \times k_i}$$

2.2.2 判断矩阵的最大特征根计算及一致性检验

根据所建立的矩阵 W, W_1, W_2, \dots, W_7 , 分别计算各个矩阵的最大特征根 λ_{\max} , 一致性指标 CI 和 RI , 一致性比率 CR , 并进行一致性检验, 检验标准如表 2。

表 2 检验标准表

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

收稿日期: 2014-03-02

作者简介: 涂子学 (1989-), 男, 湖南益阳人, 研究方向: 交通规划, 交通安全。

2.2.3 计算权重

首先计算判断矩阵中每行指标的几何平均值,然后对其进行归一化处理,得到相对权重向量

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_7);$$

$W_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ij}) (i = 1, 2, \dots, 7; j = 1, 2, \dots, k_i; k_i = X_i \text{ 对应的二级指标数量})$

其中有: $\sum_{i=1}^7 w_i = 1 (i = 1, 2, \dots, 7); \sum_{j=1}^{k_i} w_{ij} = 1 (i = 1, 2, \dots, 7; k_i = X_i)$ 对应的二级指标数量

2.2.4 构造评语集 V

设地铁服务水平评语集为

$V = (V_1, V_2, \dots, V_7) = (\text{很差}, \text{差}, \text{较差}, \text{一般}, \text{较好}, \text{好}, \text{很好})$

2.2.5 建立模糊评价矩阵

评价小组由调查员与评价专家组成,利用各级指标评价表中的评价标准,得到各项指标的评价结果。

表 3 专家评价表

一级指标项	二级指标项	很低水平	低水平	较低水平	一般水平	较高水平	高水平	很高水平
安全性	安全行车间隔里程	c_{111}	c_{112}	c_{113}	c_{114}	c_{115}	c_{116}	c_{117}
	安全行车间隔时间	c_{121}	c_{122}	c_{123}	c_{124}	c_{125}	c_{126}	c_{127}
迅速性	平均出行速度	c_{211}	c_{212}	c_{213}	c_{214}	c_{215}	c_{216}	c_{217}
	平均出行时间	c_{221}	c_{222}	c_{223}	c_{224}	c_{225}	c_{226}	c_{227}
准时性	平均行车准点率	c_{311}	c_{312}	c_{313}	c_{314}	c_{315}	c_{316}	c_{317}
	平均行车延误时间	c_{321}	c_{322}	c_{323}	c_{324}	c_{325}	c_{326}	c_{327}
舒适性	高峰小时满载率	c_{411}	c_{412}	c_{413}	c_{414}	c_{415}	c_{416}	c_{417}
	平峰小时满载率	c_{421}	c_{422}	c_{423}	c_{424}	c_{425}	c_{426}	c_{427}
方便性	换乘系数	c_{511}	c_{512}	c_{513}	c_{514}	c_{515}	c_{516}	c_{517}
	平均换乘时间	c_{521}	c_{522}	c_{523}	c_{524}	c_{525}	c_{526}	c_{527}
	平均到站时间	c_{531}	c_{532}	c_{533}	c_{534}	c_{535}	c_{536}	c_{537}
	平均候车时间	c_{541}	c_{542}	c_{543}	c_{544}	c_{545}	c_{546}	c_{547}
经济性	交通费率	c_{611}	c_{612}	c_{613}	c_{614}	c_{615}	c_{616}	c_{617}
	平均出行费用	c_{621}	c_{622}	c_{623}	c_{624}	c_{625}	c_{626}	c_{627}
满意度	顾客评价指数	c_{711}	c_{712}	c_{713}	c_{714}	c_{715}	c_{716}	c_{717}
	满意率	c_{721}	c_{722}	c_{723}	c_{724}	c_{725}	c_{726}	c_{727}

由表 3 可以得到一级指标 X_i 的模糊评价矩阵 R_i , 如下
 $R_i = [C_{ijn}]_{k_i \times 7} (i = 1, 2, \dots, 7; k_i = X_i \text{ 对应的二级指标数量})$

2.2.6 综合计算结果

利用计算公式得出 $P_i = W_i \times R_i (i = 1, 2, \dots, 7)$, 并做归一化处理, 得到模糊向量 P_1, P_2, \dots, P_7 。利用公式 $F = W \times P = W \times (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7)^T$ 得到最终模糊综合评价, 由此可以给出地铁服务水平等级。

3 成都地铁 1 号线实例分析

3.1 基础数据

引入地铁服务水平评价指标体系, 确定各指标值, 如表 4 所示。

表 4 成都地铁 1 号线服务水平评价指标值

一级指标	二级指标	指标调查值
安全性	安全行车间隔里程	40 万 km
	安全行车间隔时间	742 d
迅速性	平均出行速度	35 km/h
	平均出行时间	20 min
准时性	平均行车准点率	99.9%
	平均延误时间	0.01 min/车
舒适性	高峰小时满载率	96%
	平峰小时满载率	50%

续表 4

一级指标	二级指标	指标调查值
方便性	换乘系数	0.4
	平均换乘时间	4.2 min
	平均到站时间	15 min
	平均候车时间	3.7 min
经济性	交通费率	2.5%
	平均出行次数费用	2.6 元/次
满意度	顾客评价指数	7.3
	满意率	68.4%

(以上数据来源于成都地铁工作人员、作者上车调查和部分乘客抽样问卷)

3.2 确定指标权重

依据前面构建的模型, 采用 1~9 标度法构建各层级判断矩阵, 并做一致性检验。为采集多方意见, 引入五名专家进行评判, 并设定各专家权重, 选用几何平均法综合处理数据。此过程本文应用 Yaaph 层次分析法软件完成, 如图 1 所示。软件操作过程不做详细介绍。

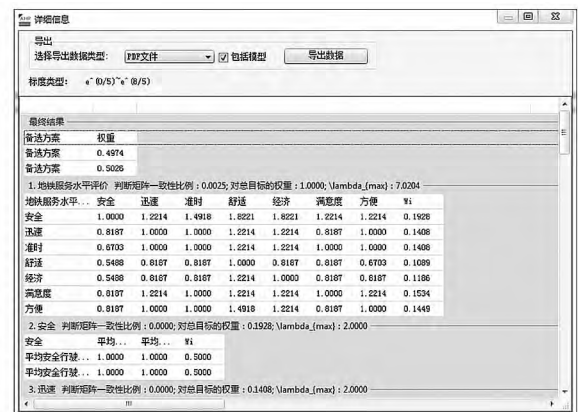


图 1 Yaaph 层次分析法软件数据导出示意图

应用 Yaaph 层次分析法软件导出数据, 对数据进行分析整理, 得各层指标权重如下。

第一层级指标安全性、迅速性、准时性、舒适性、方便性、经济性、满意度对目标层权重

$$W = (0.3414 \quad 0.1045 \quad 0.1473 \quad 0.1097 \quad 0.0532 \quad 0.0728 \quad 0.1711)$$

第二层级指标“平均安全行驶里程、平均安全行驶时间”对第一层级指标“安全”的权重

$$W_1 = (0.4482 \quad 0.5518)$$

第二层级指标“平均出行时间、平均出行速度”对第一层级指标“迅速”的权重

$$W_2 = (0.7760 \quad 0.2240)$$

第二层级指标“平均行车准点率、平均行车延误时间”对第一层级指标“准时”的权重

$$W_3 = (0.7143 \quad 0.2857)$$

第二层级指标“高峰小时满载率、平峰小时满载率”对第一层级指标“舒适”的权重

$$W_4 = (0.7225 \quad 0.2775)$$

第二层级指标“平均到站时间、平均候车时间、换乘系数、平均换乘时间”对第一层级指标“方便”的权重

$$W_5 = (0.1156 \quad 0.2256 \quad 0.2900 \quad 0.3688)$$

第二层级指标“平均出行费用、出行费率”对第一层级指标“经济”的权重

$$W_6 = (0.2662 \quad 0.7338)$$

第二层级指标“满意率、顾客评分”对第一层级指标“满意度”的权重

$$W_7 = (0.6974 \quad 0.3026)$$

3.3 构造模糊判断矩阵

对二级指标进行专家评分, 归一化处理结果如表 5 所示。

表 5 二级指标专家评分结果汇总表

一级指标项	二级指标项	很低水平	低水平	较低水平	一般水平	较高水平	高水平	很高水平
安全性	安全行车间隔里程	0	0	0.08	0.12	0.40	0.33	0.07
	安全行车间隔时间	0	0.10	0.14	0.16	0.37	0.13	0.10
迅速性	平均出行速度	0.08	0.07	0.14	0.21	0.29	0.11	0.09
	平均出行时间	0.07	0.13	0.10	0.36	0.17	0.17	0
准时性	平均行车准点率	0	0	0.10	0.28	0.42	0.20	0
	平均行车延误时间	0	0	0	0.32	0.50	0.08	0.10
舒适性	高峰小时满载率	0	0	0.12	0.38	0.27	0.13	0
	平峰小时满载率	0	0	0.11	0.39	0.30	0.20	0
方便性	换乘系数	0	0	0	0.13	0.60	0.17	0.10
	平均换乘时间	0	0	0.10	0.40	0.40	0.10	0
	平均到站时间	0	0	0.12	0.47	0.31	0.10	0
	平均候车时间	0	0.10	0.22	0.49	0.19	0	0
经济性	交通费率	0	0	0.01	0.20	0.69	0.10	0
	平均出行费用	0	0	0	0.29	0.71	0	0
满意度	顾客评价指数	0	0	0	0.10	0.50	0.40	0
	满意率	0	0	0	0.31	0.52	0.17	0

分别构造矩阵如下

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.08 & 0.12 & 0.40 & 0.33 & 0.07 \\ 0 & 0.1 & 0.14 & 0.16 & 0.37 & 0.13 & 0.10 \end{pmatrix} \\
 R_2 &= \begin{pmatrix} 0.08 & 0.07 & 0.14 & 0.21 & 0.29 & 0.11 & 0.09 \\ 0.07 & 0.13 & 0.10 & 0.36 & 0.17 & 0.17 & 0 \end{pmatrix} \\
 R_3 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.10 & 0.28 & 0.42 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.32 & 0.50 & 0.08 & 0.10 \end{pmatrix} \\
 R_4 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.12 & 0.38 & 0.27 & 0.13 & 0 \\ 0 & 0 & 0.11 & 0.39 & 0.30 & 0.20 & 0 \end{pmatrix} \\
 R_5 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.13 & 0.60 & 0.17 & 0.10 \\ 0 & 0 & 0.10 & 0.40 & 0.40 & 0.10 & 0 \\ 0 & 0 & 0.12 & 0.47 & 0.31 & 0 & 0 \\ 0 & 0.10 & 0.22 & 0.49 & 0.19 & 0.10 & 0 \end{pmatrix} \\
 R_6 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.01 & 0.20 & 0.69 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.29 & 0.71 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 R_7 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.10 & 0.50 & 0.40 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.31 & 0.52 & 0.17 & 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

3.4 评价结果计算

(1) 利用模糊乘法计算公式得出 $P_i = W_i \times R_i (i = 1, 2, \dots, 7)$ 并做归一化处理, 得到模糊行向量 P_1, P_2, \dots, P_7 , 结果如下

$$P_1 = (0.448 \ 2 \ 0.551 \ 8) \times \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.08 & 0.12 & 0.40 & 0.33 & 0.07 \\ 0 & 0.1 & 0.14 & 0.16 & 0.37 & 0.13 & 0.10 \end{pmatrix} = (0.01 \ 0.14 \ 0.16 \ 0.40 \ 0.33 \ 0.10)$$

归一化处理得

$$P_1 = (0 \ 0.081 \ 0.114 \ 0.130 \ 0.326 \ 0.268 \ 0.081)$$

同理可得

$$P_2 = (0.071 \ 0.116 \ 0.125 \ 0.199 \ 0.258 \ 0.151 \ 0.081)$$

$$P_3 = (0.068 \ 0.110 \ 0.118 \ 0.240 \ 0.245 \ 0.143 \ 0.076)$$

$$P_4 = (0 \ 0 \ 0.123 \ 0.389 \ 0.284 \ 0.204 \ 0)$$

$$P_5 = (0 \ 0.084 \ 0.184 \ 0.309 \ 0.243 \ 0.096 \ 0.084)$$

$$P_6 = (0 \ 0 \ 0.009 \ 0.261 \ 0.640 \ 0.090 \ 0)$$

$$P_7 = (0 \ 0 \ 0 \ 0.252 \ 0.416 \ 0.332 \ 0)$$

(2) 计算最终评价结果

$$F = W \times P = W \times (P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7)^T = (0.071 \ 0.110 \ 0.118 \ 0.171 \ 1 \ 0.326 \ 0.268 \ 0.081)$$

归一化处理得最终结果

$$F = (0.062 \ 0.096 \ 0.103 \ 0.149 \ 0.286 \ 0.231 \ 0.073)$$

3.5 评价结果分析

分析以上计算结果和预先设定的评语集

$$F = (0.062 \ 0.096 \ 0.103 \ 0.149 \ 0.286 \ 0.231 \ 0.073)$$

$V = (V_1, V_2, \dots, V_7) = (\text{很差}, \text{差}, \text{较差}, \text{一般}, \text{较好}, \text{好}, \text{很好})$

得到评价级分布直方图, 如图 2 所示。

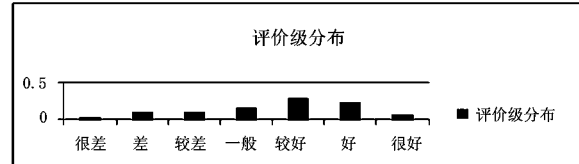


图 2 评价级分布图

从图 2 中可以得知, 服务水平评级分布比率排序为: “较好” > “好” > “一般” > “较差” > “差” > “很好” > “很差”

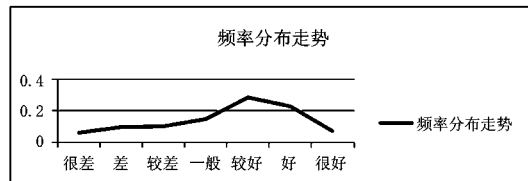


图 3 评级频率分布走势图

从图 3 可以看出, 评级频率走势呈现先上升再下降的趋势, “很差”与“很好”所占比例均很小, “较好”与“好”所占比例相对更大, 此分布走势符合人们的评价习惯和客观规律。



图 4 频率分布对比图

从图 4 可以看出, 中上服务水平所占比例为 73.9%, 所占比例较大, 差评为 26.1%, 所占比例较小, 可以得出结论, 成都地铁 1 号线服务水平较高, 能够基本满足乘客出行需求。

4 结 语

城市轨道交通系统是一个复杂的大系统, 本论文只针对地铁运营系统进行了建模和分析, 对于城市其他公交方式未作针对性的研究。鉴于城市各种公共交通方式的相似性, 在以后的工作中, 可进一步探索此方法在其他公交方式中的应用, 完善整个城市公交大系统的服务水平评价的系统方法。AHP—FCA 模型虽然在指标量化上具有一般评价方法不具有的优势, 但是此模型始终还是基于人为主观的评判的基础上, 难免和客观事实出现误差, 如何实现评价的更精确量化, 是以后探索的一个方向。

参考文献:

- [1] 郝勇, 范君晖. 系统工程方法与应用[M]. 科学出版社, 2007: 43—45.
- [2] 彭祖赠, 孙福玉. 模糊(Fuzzy)数学及其应用[M]. 武汉大学出版社, 2007.
- [3] 张慧慧. 基于乘客满意度的城市轨道交通服务质量评价[D]. 北京交通大学硕士毕业论文, 2009.
- [4] 陈光, 张宁, 陈晖, 黄卫. 城市轨道交通服务水平评价体系研究[J]. 都市快轨交通, 2008, 21(6): 5—10.