

DOI:10.3969/j.issn.1674-0696.2017.07.17

居民出行成本影响因素的改进解释结构模型研究

章锡俏,袁亚龙,孙志超

(哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院,黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:出行成本作为交通管理者调整居民出行结构的一项经济杠杆,在交通需求管理中发挥重要作用。从系统科学的思维角度和理论出发,在界定影响居民出行成本的10项影响因素的基础上,通过改进的解释结构模型得到影响因素之间的主次关系与层级关系。结合改进的解释结构模型的分析结果,将影响居民出行成本的因素分为可量化的硬性因素与心理感知的软性因素,加深了对于居民出行成本影响因素之间关系的理解。最后根据因素间的递阶关系有向图,给出了调整居民出行成本,优化交通结构的建议。

关键词:交通运输工程;出行成本;改进的解释结构模型;递阶关系

中图分类号:U491

文献标志码:A

文章编号:1674-0696(2017)07-101-05

Improved Interpretive Structural Model of Influencing Factors of Resident Travel Cost

ZHANG Xiqiao, YUAN Yalong, SUN Zhichao

(School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, Heilongjiang, P. R. China)

Abstract: Travel cost as an economic lever is used to adjust the travel structure of residents by traffic administrator, and it plays an important role in the traffic supply and demand management system. From the point view of system science thinking and theory, the primary and secondary relationship as well as the hierarchy of the influencing factors was obtained by the improved interpretative structural model, on the basis of defining ten factors which affected residents' travel cost. With the analysis results of the improved interpretative structural model, the influencing factors of residents' travel cost could be divided into two kinds: the quantifiable hard factors and the psychological perception soft factors, which improved the understanding of the relationship among the influencing factors of residents' travel cost. Finally, according to the directional graph of hierarchical relations among the factors, some suggestions were given to adjust residents' travel cost and optimize the travel structure.

Key words: traffic and transportation engineering; travel cost; improved interpretative structural model; hierarchical relationship

0 引言

通过改善居民可以感知的出行成本,优化交通出行结构,从根源上缓解交通拥堵,已经成为交通领域研究的热点之一。目前研究主要是通过分析与出行成本密切相关的影响因素,量化出行时间价值^[1]与居民公交时间价值^[2]、建立新效用函数^[3]、经济

方法调节出行成本^[4]、边际出行成本曲线^[5]等方法,量化出行成本中的各种因素。这些研究对于居民出行成本进行了有益的探究,为了完善出行成本的研究,笔者试图通过系统科学的角度去建立相应的改进解释结构模型,研究居民出行成本影响因素之间的相互关系。

通过分析发现,居民出行成本受到多种因素影

收稿日期:2016-06-04;修订日期:2016-12-07

基金项目:黑龙江省交通厅科技项目(MH20150031)

第一作者:章锡俏(1978—),男,辽宁沈阳人,讲师,博士,主要从事公交运输规划与管理方面的研究。E-mail:zxq103@126.com。

通信作者:袁亚龙(1993—),男,甘肃会宁人,硕士,主要从事公交运输规划与管理方面的研究。E-mail:tonnyuan@126.com。

响,并且很多因素难以直接量化;另外,已有研究没有系统地界定影响出行成本的因素,只是从微观的角度尝试解释某一个或者两个因素对出行成本的影响,故在不同文献中,计算出行成本时会选取不同的影响因素;同时影响居民出行成本的因素之间存在着相互支持或相互制约的逻辑关系,这为进一步精确计算居民出行成本带来困难。笔者在借鉴前人研究成果的基础上界定影响居民出行成本的10个因素,应用模糊数学的知识,求出因素之间的关系邻接矩阵;通过构建居民出行成本的改进解释结构模型,明确影响因素之间的主次关系与层级关系,通过系统科学的方法加深了对于出行成本的理解程度,为调整居民出行成本,优化交通结构提供建议。

1 改进解释结构模型

1.1 改进解释结构模型描述

解释结构模型(Interpretive Structural Model, ISM)是结构化模型技术的一种,由美国J·N·沃菲尔德教授于1973年作为分析复杂的社会经济系统结构问题而开发的一种方法。由于系统因素之间的模糊关系,为了提高因素关系确定的准确性,改进的ISM引入模糊数学中模糊矩阵的概念,实现ISM中的因素关系确定从定性分析到定量分析的转变,使分析结果更加合理与准确^[6-7]。

居民出行成本涉及许多影响因素,这些影响因素大多无法直接量化,并且因素之间存在着模糊的相互关系,因此可以使用改进的解释结构模型对居民出行成本的影响因素进行研究。

1.2 建立改进解释结构模型步骤

改进解释结构模型可以在建立目标明确错综复杂的大型系统时,整理并且统一各种不同的意见。改进解释结构模型的具体建模步骤如下:

- 1) 明确研究问题的目标并确定有关的影响因素;
- 2) 组织专家小组成员对所有的影响因素 S_i 与 S_j 进行两两之间的关联程度评分,分数在0~1之间,并根据专家评分结果,建立模糊邻接关系矩阵 F ;
- 3) 根据实际情况,选取模糊隶属度函数,计算关联强度矩阵 B ;
- 4) 确定阈值 λ ,推导邻接矩阵 A_0 并且计算可达矩阵 M ;
- 5) 对可达矩阵 M 进行分解。通过可达矩阵的区级间划分和强连通块划分,确定系统骨架矩阵 A' ;
- 6) 绘制系统多级递阶有向图。根据步骤5得到

的骨架矩阵绘制多级递阶有向图,最后进行模型的解释与说明^[6-7]。

笔者按照上述步骤对居民出行成本的影响因素进行改进的解释结构模型构建,并给出重要步骤的计算结果与解释说明。

2 居民出行成本影响因素

任何系统都是由两个及其以上的相互联系、相互作用的要素组成的一个有机整体^[8]。设系统由 n ($n \geq 2$)个要素($S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$)组成,其集合为 S ,则有 $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_n\}$ 。

2.1 居民出行成本影响因素变量集合

将居民出行成本作为一个完整的,复杂的结构体,影响居民出行成本的因素作为其计算要素。通过对于居民出行特点分析,结合现有的影响因素和先验知识,参考相应的文章以及工程经验^[9-11],对影响居民出行成本的因素进行归纳总结,见表1。选取影响居民出行成本的 $n=10$ 个影响因素($S_1, S_2, S_3, \dots, S_{10}$),建立影响因素集合 $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_{10}\}$ 。

表1 居民出行成本影响因素
Table 1 Influencing factors of residents' travel cost

变量	影响因素	变量	影响因素
S_1	出行费用	S_6	安全性
S_2	出行时间	S_7	驾驶员态度
S_3	出行目的	S_8	出行便利性
S_4	居民收入	S_9	车辆设施
S_5	出行方式	S_{10}	出行拥挤度

2.2 关联因素评分,建立模糊邻接矩阵

任意两个要素之间可以存在影响、包含、隶属、因果等多种关系^[8,12]。实际生活中,仅仅通过两个因素的定义是很难直接判断两个因素之间的确切关系,在改进的ISM中把表示系统元素之间相互的0-1二元关系转换成二元模糊关系。在对系统各要素之间关系的确定时,专家就可根据个人的经验与认识,确定要素之间关联程度,而不是绝对确定其是否存在关联关系。

通过向交通工程、道路工程与管理工程的专家发送电子邮件,进行专家打分评价,请专家执行步骤2,初步判断10项因素之间的影响关系大小,共发送电子问卷100份,收回95份,问卷回收率为95%。使用SPSS对于问卷的效度与信度进行统计学检验,其中克隆巴赫系数 $\alpha = 0.74$, $KMO = 0.70$,达到了统计学的检验标准,证明专家问卷可信。使用平均法统计因素模糊关联矩阵 F ,见表2。

表 2 因素模糊关联矩阵
Table 2 Fuzzy relation matrix of factors

变量	出行费用 S_1	出行时间 S_2	出行目的 S_3	居民收入 S_4	出行方式 S_5	安全性 S_6	驾驶员态 度 S_7	出行便利 性 S_8	车辆设施 S_9	出行拥挤 度 S_{10}
出行费用 S_1	0.00	0.36	0.28	0.32	0.27	0.32	0.24	0.35	0.64	0.32
出行时间 S_2	0.37	0.00	0.27	0.13	0.22	0.08	0.20	0.72	0.28	0.16
出行目的 S_3	0.32	0.70	0.00	0.43	0.74	0.20	0.02	0.30	0.02	0.17
居民收入 S_4	0.35	0.34	0.32	0.00	0.56	0.17	0.48	0.08	0.23	0.18
出行方式 S_5	0.80	0.74	0.34	0.24	0.00	0.30	0.45	0.35	0.33	0.52
安全性 S_6	0.30	0.13	0.24	0.12	0.34	0.00	0.23	0.07	0.45	0.27
驾驶员态度 S_7	0.37	0.44	0.18	0.08	0.15	0.40	0.00	0.05	0.02	0.18
出行便利性 S_8	0.45	0.49	0.28	0.28	0.35	0.14	0.04	0.00	0.20	0.22
车辆设施 S_9	0.52	0.12	0.18	0.28	0.27	0.80	0.07	0.27	0.00	0.33
出行拥挤度 S_{10}	0.46	0.49	0.28	0.14	0.36	0.50	0.18	0.30	0.20	0.00

3 建立改进的解释结构模型

3.1 选取模糊隶属度函数,确定关联强度矩阵

选取隶属度函数,如式(1),计算得到关联强度矩阵 B ,关联强度矩阵 B 的实质是聚类过程,即把具有相似功能的特征聚集为一类:

$$b_{ij} = f_{ij} / (f_{i.} + f_{.j} - f_{ij}) \quad (1)$$

通过阈值 λ 对关联强度矩阵 B 进行筛选,阈值 λ 的选取越小,则系统划分的越粗;选取的越大,则划分的越细。系统划分得过细与过粗都将影响到系统的总体性能,因此取值要适当。通过实验方法,选取阈值 $\lambda = 0.08$ 。结合关联强度矩阵 B ,根据式(2)得到的邻接矩阵 A_0 :

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & b_{ij} \geq \lambda \\ 0, & b_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (2)$$

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}
S_1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
S_2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
S_3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
S_4	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
S_5	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
S_6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
S_7	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S_8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_9	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S_{10}	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

将系统的目标出行成本作为第 11 个要素 S_{11} 加入到邻接矩阵中,将出行时间、费用、安全性作为出行成本的直接影响因素,在不影响结果的同时,方便

后续的运算。

本模型的目的是为精确计算个体居民出行成本提供参考,是在出行方式、出行目的,出行时间等相关因素已知的假设上面进行建立,故出行成本作为系统的总目标,对于这些因素的影响可以忽略不计。

3.2 可达矩阵与骨架矩阵的求解

可达矩阵 M 是指用矩阵形式来描述有向连接图各节点之间,经过一定长度的通路后可以到达的程度。设 $A_1 = A_0 + I$,对矩阵 A_1 依次进行求幂布尔代数运算后,通过判别公式(3)得可达矩阵 M :

$$(A_1)^1 \neq (A_1)^2 \neq (A_1)^3 \neq \dots \neq (A_1)^r = (A_1)^{r+1} \quad (3)$$

	S_{11}	S_1	S_6	S_9	S_2	S_8	S_7	S_{10}	S_5	S_3	S_4
S_{11}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
S_6	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
S_9	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
S_2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
S_8	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
S_7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
S_{10}	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
S_5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
S_3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
S_4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1

由可达矩阵可知, $\{S_1, S_6, S_9\}$ 和 $\{S_2, S_8\}$ 互为强连通因素,缩减这几个因素,只保留 S_1 和 S_2 ,按照行中“1”的元素由少到多排列得到缩减矩阵 M' 后,去掉 M' 中的越级二元关系与反身性关系,得到系统之间影响因素的骨架矩阵 A' :

$$A' = \begin{matrix} L_1 & S_{11} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ L_2 & \begin{cases} S_1 \\ S_2 \end{cases} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ L_3 & \begin{cases} S_7 \\ S_{10} \end{cases} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ L_4 & S_5 & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ L_5 & \begin{cases} S_3 \\ S_4 \end{cases} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

3.3 因素层级划分

通过式(4)和式(5)判断矩阵因素 S_i 的可达集合 R_i 和先行集 A_i ,使用判断条件式(6)进行分级,最后通过骨架矩阵得到划分结果,见表3。

$$R(S_i) = \{S_j | m_{ij} = 1\}, j=1,2,3,\dots,n \quad (4)$$

$$A(S_i) = \{S_j | m_{ji} = 1\}, j=1,2,3,\dots,n \quad (5)$$

$$A_i \cap R_i = R_i \quad (6)$$

表3 层级划分结果

Table 3 Results of grouping factors

层级	层级因素	层级	层级因素
L_1	S_{11}	L_4	S_5
L_2	$\{S_1, S_6, S_9\}; \{S_2, S_8\}$	L_5	$S_3; S_4$
L_3	$S_7; S_{10}$		

3.4 多级递阶结构模型绘制

根据对可达矩阵的分解结果,得到不同层次的因素及其关系,通过绘制多级递阶结构模型,还原被缩减掉的因素,将有向图转化为更容易理解的解释结构模型,给出出行成本影响因素的递阶结构模型。

参照上述骨架矩阵 A' 与层级划分结果,按照区域与级位从上到下依次排列各影响因素,绘制出骨架矩阵的级位图,并将表示强连接关系的影响因素也还原到原图中。用有向弧连接相邻级别间的要素及同一级别的要素,可得到层次结构图,见图1。通过图1可以详细分析各级别要素间的相互关系。

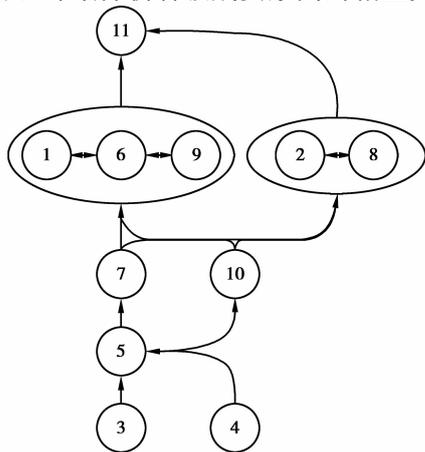


图1 层次结构

Fig. 1 Hierarchal structure

将系统影响因素的名称代入到层次结构图中,于是得到出行成本多层递阶解释结构模型,见图2。

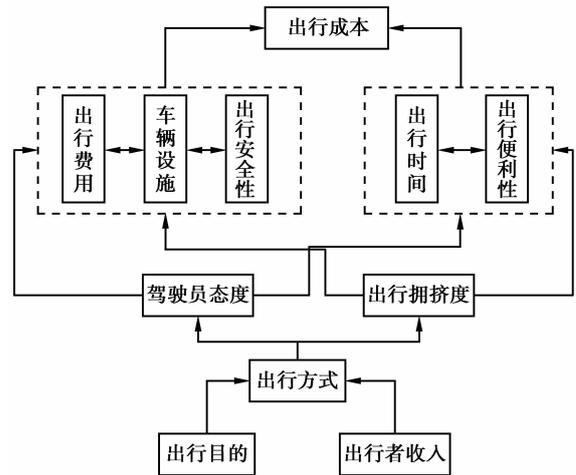


图2 出行成本多层递阶解释结构模型

Fig. 2 Hierarchal interpretative structural model of travel cost

从图2中可知,影响居民出行成本的因素主要可以分为4个层次:硬性可量化因素层、软性可感知因素层、过渡连接因素层与根本性因素层。使用有向弧对于层级之间与层级内部的关系进行连接。

4 模型解释

根据多层递阶解释结构模型,出行成本的影响因素大致可以分为4个层次。结合出行成本现状,对这个层次结构做出解释分析。

第1层次包括出行费用、车辆设施、出行安全性、出行便利性,出行时间这5个硬性可量化因素,前3个因素与后2个因素构成强连通因素,表示彼此之间具有高度的互动,这些因素之间的部分效果通常是重复的,容易自成一个封闭的系统。结合出行成本现状来看,说明出行时间与出行费用是影响居民出行成本的最直接因素,通过相应的管理手段直接影响第1层因素,可以达到较为显著地调整居民出行成本效果。另外,由于因素之间的强连通性,通过调整一个因素往往达不到整体改观的作用,故需要对于第1层次的因素整体进行改进才会达到预期的效果。

第2层包括出行拥挤度与驾驶员态度这两种居民的心理软性可感知因素。说明居民选择出行方式后,会根据先验的知识或者已体验的出行服务,在心理上产生一种判断,这些心理因素会直接影响到居民对于出行成本的感知状况。可见树立交通方式的服务形象、改善交通的服务环境、改变居民的出行态度,对降低居民的出行感知成本,进而减少居民的实际出行成本至关重要。

第3层只包括出行方式这种过渡连接因素。说

明选择者的自身属性与被选择交通方式的属性之间,通过出行方式进行连接。通过交通方式的形式,具体体现出二者的特性。对交通管理者而言,往往通过需求管理的方法去改变出行者的出行方式,达到调整交通结构的目的。

第4层包括出行者的出行目的与出行者收入这两个因素,可见这两个因素是影响出行成本的根本性因素,同时它们也是出行者自身的属性。交通管理者应该首先明确所要调整的人群的属性,针对特定的人群制定相应的管理措施。例如对于以通勤出行为主要目的的不同收入居民,应该根据其出行特性,制定拥挤收费政策或者为通勤乘客提供专线快车服务等,以达到社会福利最优的目标。

5 结论

通过改进的解释结构模型,对出行成本的影响因素进行分析。建立出行成本系统解释结构模型,探讨影响出行成本的各因素的结构层次关系,为出行成本的计算,调整与改进提供了新思路。

1) 出行成本的解释结构模型为出行成本的统计模型提供了良好可靠的理论结构模型基础。缺少理论基础的统计模型并没有实际意义,本模型从系统学的视角出发,通过模糊数学的处理,在保留因素之间丰富信息的基础上,整理因素之间的相互关系。为结构方程模型等数理统计模型的载荷因子标定提供可靠的初始模型基础。

2) 为公交票价的制定、拥挤收费,停车收费等政策提供基础参考。居民出行成本作为影响居民出行的核心要素,通过构建的解释结构模型,从理论根源上对出行成本的内涵进行详细的说明,为交通政策的制定与修改奠定基础。

3) 为改善公共交通服务质量,吸引潜在的公交需求者提供理论指导。通过层次分析结果中的可量化的硬性指标与心理感知的软性指标的分类,深入分析了出行者的出行需求层次。交通管理部门可以有的放矢,找到服务短板,从全局入手,系统地改善公交服务质量。

参考文献(References):

- [1] MACKIE P J, JARA-DÍAZ S, FOWKES A S. The value of travel time savings in evaluation [J]. *Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review*, 2001, 37(2/3): 91-106.
- [2] WARDMAN M. Public transport values of time [J]. *Transport*

Policy, 2004, 11(4):363-377.

- [3] 徐婷,蓝臻,胡大伟. 出行成本对居民出行方式的影响[J]. *交通运输工程学报*, 2013, 13(1): 1-3.
XU Ting, LAN Zhen, HU Dawei. Influence of trip cost on trip mode for resident [J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2013, 13(1): 1-3.
- [4] 杨忠伟,刘小明. 城市交通出行成本对出行结构的影响[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2012, 12(2): 2-4.
YANG Zhongwei, LIU Xiaoming. The effect of urban travel cost on travel structure [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2012, 12(2): 2-4.
- [5] 李军,赖信君,黄琳. 个人边际出行成本的大都市交通分担率分析[J]. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*, 2014, 38(4): 1-2.
LI Jun, LAI Xinjun, HUANG Lin. Share rate analysis of urban transportation mode based on individual marginal cost [J]. *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering)*, 2014, 38(4): 1-2.
- [6] 李晓争. 基于解释结构模型的铁路智能运输系统体系结构研究[D]. 北京:北京交通大学, 2007: 34-36.
LI Xiaozheng. *The System Architecture Study of RITS Based on ISM* [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007: 34-36.
- [7] WANG Zhongtuo. *Introduction of System Engineering* [M]. Beijing: Publishing Company of Electronic Industry, 1991: 80-88.
- [8] 孙慧,周颖,范志清. 基于解释结构模型的公交客流量影响因素分析[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2010, 12(1): 29-32.
SUN Hui, ZHOU Ying, FAN Zhiqing. An analysis of the influencing factors of public transportation passenger flow on the base of interpretive structural model [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2010, 12(1): 29-32.
- [9] RICHARDSON T. Estimating individual values of time in stated preference surveys [J]. *Road & Transport Research*, 2006, 15(1): 44-53.
- [10] LEMP J D, KOCKELMAN K M. Quantifying the external costs of vehicle use: evidence from America's top-selling light-duty models [J]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2008, 13(8): 491-504.
- [11] 邵敏华,李田野,孙立军. 常规公交居民对车内拥挤感知阻抗调查与建模[J]. *同济大学学报(自然科学版)*. 2012, 40(7): 2-4
SHAO Minhua, LI Tianye, SUN Lijun. Survey method and model of passengers' cost perception of crowding level in bus [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2012, 40(7): 2-4.
- [12] 黄炜,张黎明. 基于解释结构模型的夯土墙质量影响因素分析[J]. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, 2014, 46(3): 1-3.
HUANG Wei, ZHANG Liming. Analysis on quality influencing factors of the rammed-earth wall based on an interpretive structural model [J]. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition)*, 2014, 46(3): 1-3.

(责任编辑:谭绪凯)