

考虑土地利用下基于结构方程的城市交通出行行为影响

周家中, 尤 勍, 罗 佳, 于海松
(西南交通大学 交通运输与物流学院, 成都 610031)

摘 要: 以考虑土地利用为前提, 基于结构方程模型, 利用成都市交通出行调查数据, 选取出行行为作为内生潜变量, 选取出行距离、出行时间和出行次数为内生显变量; 选取土地利用属性、社会经济属性和家庭属性三者作为外生潜变量, 用地区域类型、职业、性别、年龄等 13 项影响因素为外生显变量, 以家庭属性下的交通出行者个体为分析单元, 综合考虑个人和家庭社会经济属性, 量化了内生显变量和潜变量、外生显变量和潜变量以及外生潜变量和内生潜变量三者之间的复杂影响关系, 对交通出行调查的设计、交通出行行为的分析和交通需求模型的建立具有现实指导意义, 同时为城市综合交通规划辅助决策提供了一种量化分析的理论方法。

关键词: 交通工程; 土地利用; 结构方程; 出行行为

中图分类号: U 491

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2013)06-0925-05

The Effect on Urban Travel Behavior Based on Structural Equation Model Under Consideration of Land Use

ZHOU Jia-zhong, YOU Qing, LUO Jia, YU Hai-song
(College of Traffic and Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Under the consideration of land use, based on the structural equation model, using the data of Chengdu traffic travel survey, the authors selected the travel behavior as endogenous latent variables, the travel distance, travel time and travel times as endogenous variables; and selected land-use social economic attributes and household attributes as exogenous latent variables, and the land use zone type, occupation, gender, age and other factors as exogenous variables; by taking the individual traveler under the household attributes as the unit for analysis, by considering the personal and family socio-economic attributes, quantitatively quantified the complex relationship among different variables. This paper is practical to the design of travel survey, the analysis of travel behavior and the traffic demand model, and it provides a quantitative analysis to the comprehensive transportation planning decision.

Key words: traffic engineering; land use; structural equation model; travel behavior

交通出行行为分析是交通需求分析模型建立的基础, 是城市综合交通运输系统规划决策的重要辅助分析工具。经过几十年的发展, 融合了统计学、经济学、心理学等学科研究成果, 交通行为分析取得了

长足进步, 在此基础上, 考虑土地利用的交通出行行为分析在国外已经有了较系统的研究^[1], 但是国内研究的交通出行行为分析并没有充分考虑土地利用属性对交通出行行为的影响。

收稿日期: 2011-11-23.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70422201)。

作者简介: 周家中(1987—), 男, 博士研究生, 主要从事城市交通规划与设计、城市公共交通系统研究, E-mail: zhoujiazhong0916@163.com.

随着研究的深入,出行行为的影响因素变量逐渐增多,要求统计研究技术必须能处理这些变量之间的潜在关系.传统统计分析技术(如回归分析),仅能测量自变量与因变量之间的直接影响关系,但是,出行行为的复杂性决定了自变量之间存在相互依存关系,对出行行为造成了间接影响.因此,此类间接影响因素考虑的缺失被认为是传统统计分析技术最重要的缺点之一.结构方程模型(structural equation model, SEM),可以全面整体地分析各个影响因素变量之间直接和间接的影响关系,将有助于进一步推动出行行为的研究^[2].

基于此,本文在考虑土地利用的条件下基于结构方程建立了出行行为影响分析模型,探讨了考虑土地利用下的出行行为各个影响因素的整体全面影响关系.

1 结构方程模型

结构方程模型是一种基于变量协方差矩阵来分析变量之间关系的统计方法,也称协方差结构分析.结构方程模型被称为统计学三大进展之一,克服了以往统计方法的不足,目前已在管理学、社会学、心理学、经济学等社会科学领域里得到广泛应用^[3-5],并且在国外交通出行行为领域已有深入研究^[2],国内的研究主要集中在对家庭节假日外出活动的关联性分析上^[6-7],并没有全面研究交通出行行为的影响机理.结构方程模型的主要优势在于^[8]:

- 1) 能测量对变量之间的整体影响关系,对直接影响和间接影响均可以建立模型;
- 2) 容许隐变量由多个观测指标构成;
- 3) 能修正显变量的测量误差.

1.1 模型形式

结构方程模型包括测量方程(measurement equation)和结构方程(structure equation).

测量方程用于表述显变量与隐变量之间的关系,表达式为

$$x = \Lambda_x \xi + \delta \quad (1)$$

式中: x 表示外生显变量组成的向量; Λ_x 表示 x 在 ξ 的因子负荷矩阵; ξ 表示外生潜变量组成的向量; δ 表示内生变量的误差项.

$$y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \quad (2)$$

式中: y 表示内生显变量组成的向量; Λ_y 表示 y 在 η 上的因子负荷矩阵; η 表示内生潜变量组成的向量; ε 表示外生变量的误差项.

结构方程用于表述潜变量的内部关系,表达

式为

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \quad (3)$$

式中: B 为系数矩阵,描述了内生潜变量 η 之间的彼此影响; Γ 为系数矩阵,描述了外生潜变量 ξ 对内生潜变量 η 的影响; ζ 为结构方程的残差项.

结构方程模型的建立共包括8个参数矩阵: Λ_x 、 Λ_y 、 B 、 Γ 、 Φ 、 Ψ 、 θ_ε 、 θ_δ ,其中 Φ 、 Ψ 、 θ_ε 、 θ_δ 分别是 ξ 、 ζ 、 ε 、 δ 的协方差矩阵.

1.2 参数估计

不同于传统的统计方法,结构方程模型的参数估计是从观测向量的协方差矩阵 P 得出方差和协方差矩阵 Σ .假设模型设定准确, Σ 与 P 将尽可能趋近.对模型的估计,常运用的方法为最大似然估计(ML)和广义最小二乘法(GLS),这2种方法各有优缺点.

1.3 模型评价

模型评价是通过拟合指标对模型和数据的拟合程度进行量化.最常用的拟合指标是拟合优度的卡方检验(χ^2),其卡方值可通过拟合函数值直接推导,等于拟合函数值和样本规模减1的乘积.卡方值的大小与样本规模有关,因此又相继发展起拟合优度指数(GFI)、修正拟合优度指数(AGFI)、平方平均残差的平方根(RMR)、近似误差平方根(RMSEA)等.可根据用于验证的数据特征、样本规模及假设条件选择相应的评价指标^[4].

2 出行行为影响结构方程模型

2.1 模型构建概述

通过结构方程模型对出行行为影响机理分析,研究了外生潜变量对内生潜变量的影响,以及外生显变量与潜变量、内生显变量与潜变量之间的影响,探讨了土地利用属性、社会经济属性和家庭属性对出行行为的影响关系.

本文利用了2009年12月的成都市中心城开展的城市居民出行调查数据,以家庭为单位选取了出行行为影响因素数据,家庭总数为1 037个,包含2 914人,出行次数达7 810人次.本次居民出行调查主要分为3部分:

- 1) 个人出行行为属性调查主要包括出发到达时间、出发/到达地点、出行目的、交通工具等数据;
- 2) 土地利用属性包括用地区域类型、家庭居住区域类型和距离公交站点距离等数据;
- 3) 个人及家庭社会经济属性调查包括了性别、职业、年龄、学历、婚恋情况、收入、小汽车数量等

数据.

2.2 模型变量的选取

根据出行调查数据,选取出行行为作为内生潜变量;选取出行距离、出行时间和出行次数作为内生显变量;选取土地利用属性、社会经济属性和家庭属

性三者作为外生潜变量;选取用地区域类型、家庭居住区域类型、距离公交站点距离、小汽车数量、学历、家庭总收入、职业、工作性质、性别、年龄、家庭成员数量、6 岁以下儿童数量和婚恋情况等 13 项作为外生显变量,见表 1 所示.

表 1 结构方程的内生变量解释表
Table 1 Variables explanation for SEM

潜变量	显变量	范围
出行行为(η_1)	出行距离(y_1)	按 1 km 以内、1~2 km、2~3.5 km、3.5~5 km、5~7.5 km、7.5~10 km、10~15 km、15~25 km、25~50 km、50 km 以上,将 y_1 分成 10 类, η_1 在 1~10 之间取值
	出行时间(y_2)	按 10 min 以内、10~20 min、20~30 min、30~40 min、40~55 min、55~70 min、70 min~1.5 h、1.5~2 h、2~2.5 h、2.5 h 以上,将 y_2 分成 10 类, η_1 在 1~10 取值
	出行次数(y_3)	按出行 1 次、2 次、3 次、4 次、5 次、6 次及以上,将 y_3 分成 6 类, η_1 在 1~6 取值
土地利用属性(ξ_1)	用地区域类型(x_1)	按中心城、新城、郊县、农村 4 个区域的内外,将 x_1 分别分成 8 类, ξ_1 在 1~8 取值,如对于中心城内 ξ_1 取值为 1,中心城外围 ξ_1 取值为 2,依此类推.
	居住区类型(x_2)	是否在建成区、非建成区,分别将 x_2 分成 4 类, ξ_1 在 1~4 取值,如对于在建成区 ξ_1 取值为 1,不在建成区 ξ_1 取值为 2,依此类推.
	距公交距离(x_3)	按 250 m 内、251~500 m、201~1 000 m、1 001~1 999 m、2 000~5 000 m、5 000 m 以上,将 x_3 分为 6 类, ξ_1 在 1~6 间取值
社会经济属性(ξ_2)	小汽车数量(x_4)	按 0、1、2、3 及以上,将 x_4 分成 4 类, ξ_2 在 1~4 取值
	学历类型(x_5)	按本科以上、大中专高中、初中及以下,将 x_5 分成 3 类, ξ_2 在 1~3 取值
	家庭总收入(x_6)	按小于 2 000 元、2 000~5 000 元、5 000~15 000 元、15 000~50 000 元、大于 50 000 元,将 x_6 分 5 类, ξ_2 在 1~5 取值
	职业类型(x_7)	按管理人员、普通职员、公务员、务工人员、自由职业者、退休无业、学生、其他,将 x_7 分为 8 类, ξ_2 依次在 1~8 取值
家庭属性(ξ_3)	工作性质(x_8)	按无工作、兼职、全职,将 x_8 分为 3 类, ξ_2 在 1~3 取值
	性别(x_9)	男性时 ξ_3 为 1,女性时 ξ_3 取值为 2
	年龄(x_{10})	按 20 岁下、21~30 岁、31~40 岁、41~50 岁、51~60 岁、61 岁上,将 x_{10} 分为 6 类, ξ_3 在 1~6 取值
	成员数量(x_{11})	按 1、2、3、4、5、6 人及以上,将 x_{11} 分为 6 类, ξ_3 在 1~6 取值
	6 岁以下儿童(x_{12})	有 6 岁以下儿童时 ξ_3 取值为 1,无 6 岁以下儿童 ξ_3 取值为 2
	婚恋情况(x_{13})	结婚时 ξ_3 取值为 1,单身时 ξ_3 取值为 2

3 模型变量数据处理、模型标定及评价

3.1 模型变量数据

对出行调查数据进行数理统计处理,得到以下数据概况,详见表 2 所示.其中易量化的显变量以最小值、最大值、均值和标准差表示,如出行距离最小值为 0.2 km,最大值为 86 km,均值为 7.48 km,标准差为 31.4 km;而离散的显变量直接用各个类别的分布频率来表示:用地区域分类中,32.9%的家庭用地区域在中心城内,9.5%在新城内,11.3%在郊

县内,8.9%在农村内,8.4%在中心城外围,7.3%在新城外围,6.1%在郊县外围,5.6%在农村外围;居住区环境中,53.2%的家庭居住区在建成区,5.3%不在建成区,5.7%在非建成区,35.8%不在非建成区;距公交距离中,2.4%的家庭距离公交站点在 5 000 m 以上,5.3%在 2 001~5 000 m,11.8%在 1 001~2 000 m,25.7%在 501~1 000 m,26.5%在 251~500 m,28.3%在 0~250 m;学历类型中,15.6%的样本人群学历为本科及以上,46.8%为大中专高中,37.6%为初中及以下;家庭总收入中,

12.3%的家庭总收入在0~2000元,35.5%在2001~5000元,39.6%在5001~15000元,9.4%在15001~50000元,3.2%超过50000元;职业类型中,6.9%的样本人群职业为管理人员,33.6%为普通职员,7.8%为公务员,15.3%为务工人员,3.5%为自由职

业者,7.6%为退休无业,22.6%为学生,4.7%为其他;工作性质中,52.3%的样本人群工作性质为全职,10.3%为兼职,37.4%为无工作;性别中,51.1%的人为男性,48.9%为女性;婚恋情况中,65.4%的人为已婚,34.6%为单身。

表2 模型变量的样本数据分析

Table 2 Analysis on the sample data of the model

显变量	显变量数值			
	最小值	最大值	均值	标准差
出行距离/km	0.2	86	7.48	31.4
出行时间/min	2	274	46	33.6
出行次数	1	10	2.68	1.8
小汽车数量	0	4	0.4	0.3
年龄/岁	1	85	38.6	18.2
家庭成员人数	1	8	2.81	1.2
6岁以下儿童	0	3	0.1	0.25

3.2 模型标定结果分析

根据以上结构方程模型,在结构方程模型软件AMOS中编程运行得到出行行为影响因素的结构方程模型通径图,见图1所示。方框代表外生显变量和内生显变量,椭圆代表外生潜变量和内生潜变量,箭头方向代表直接影响关系。

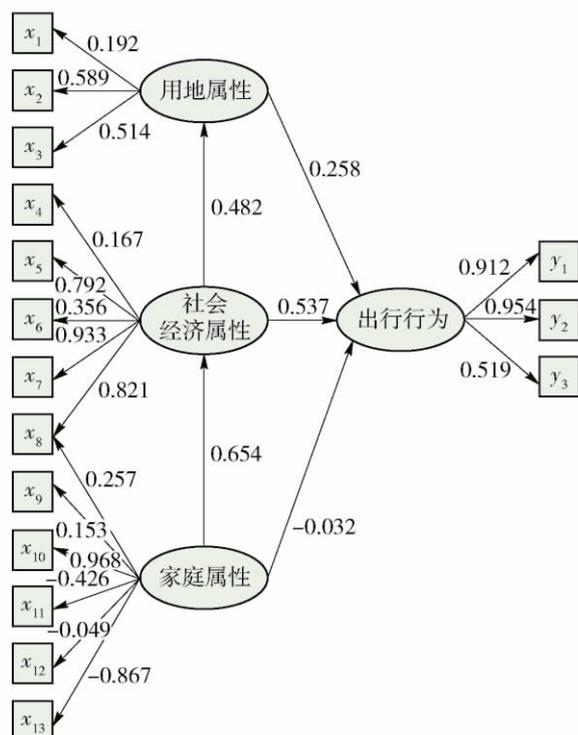


图1 出行行为影响因素的结构方程模型通径图

Fig. 1 Path diagram of the SEM in AMOS

内生潜变量出行行为对3个外生潜变量的直接影响系数分别为:土地利用属性0.258,社会经济属性0.537,家庭属性-0.032。出行行为主要受社会经济属性的直接影响:具有较高的社会经济地位的受访者出行距离更远,出行时间更长,出行次数更多。出行行为与土地利用属性的直接影响性较弱,与家庭属性无直接影响性。

从表3的数据可以分析出,内生潜变量出行行为与外生潜变量土地利用属性、社会经济属性和家庭属性三者之间均存在着影响性关系,其整体影响系数分别为:0.258、0.661和0.319。现实意义上讲,出行行为受到土地利用属性、社会经济属性和家庭属性三者的共同影响,影响关系的大小依次为:社会经济属性>家庭属性>土地利用属性。

表3 潜变量整体影响系数计算表

Table 3 Result of effect coefficients of the latent variables

潜变量	出行行为影响系数		
	直接系数	间接系数	整体系数
土地利用	0.258		0.258
社会经济	0.537	0.124	0.661
家庭属性	-0.032	0.351	0.319

3.3 模型的评价

模型的评价主要通过5个评价指标值与建议值进行比较,确定模型的拟合精度,本模型的拟合指数如表4所示,拟合指标均在建议值内,表明模型的拟合程度比较好。见表4所示。

表4 模型的评价检验

Table 4 Model fitting degree testing

评价指标名称	模型评价指标值	建议值
配适度(GFI)	0.922	>0.9
调整配适度(AGFI)	0.919	>0.9
均方根残差(RMR)	0.149	<0.5
近似均方根残差(RMSEA)	0.078	<0.08

4 结论

1) 城市交通出行行为的影响因素中,出行者的社会经济地位是影响交通出行行为的最主要因素,其次是家庭属性因素和土地利用属性,后两者影响系数较为接近,应当相应均衡考虑;

2) 土地利用属性是影响城市交通出行行为的重要因素,应当在城市交通出行行为分析中予以考虑分析;

3) 结构方程模型能全面量化出行行为影响因素的直接影响和间接影响,通过检验,模型对城市交通出行行为分析效果较好。

参考文献:

- [1] MCNALLY M G, KULKARNI A. Assessment of influence of land use-transportation system on travel behavior [J]. Transportation Research Record, 1997, 1607: 105-115.
- [2] GOLOB T F. Structural equation modeling for travel behavior research [J]. Transportation Research B, 2003, 37(1): 1-25.
- [3] 侯杰泰. 结构方程模型及其应用[M]. 北京: 教育科学

出版社, 2004.

- [4] 程开明. 结构方程模型的特点及应用[J]. 统计与决策, 2006(10): 22-25.
CHENG Kai-ming. The characteristics and application of structure equation model [J]. Statistics and Decision, 2006(10): 22-25. (in Chinese)
- [5] 张学军. 结构方程建模应用中的十大问题[J]. 统计与决策, 2007(9): 130-132.
ZHANG Xue-jun. The ten problems of the application of structure equation model [J]. Statistics and Decision, 2007(9): 130-132. (in Chinese)
- [6] 李霞, 邵春福, 孙壮志, 等. 基于结构方程的节假日居民出行和活动关联性建模分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8(6): 91-95.
LI Xia, SHAO Chun-fu, SUN Zhuang-zhi, et al. Modeling correlation of holiday trips and activities based on structural equation model [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2008, 8(6): 91-95. (in Chinese)
- [7] 赵昕, 关宏志, 巩丽媛. 基于结构方程的家庭假日外出活动关联性分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11(4): 85-96.
ZHAO Xin, GUAN Hong-zhi, GONG Li-yuan. Modeling correlation of family holiday activities based on structural equation model [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2011, 11(4): 85-96. (in Chinese)
- [8] VERONIQUE V A, FRANK W, BERT V W. The effects of the land use system on travel behavior: a structural equation modeling approach [J]. Transportation Planning and Technology, 2007, 30: 4, 331-353.

(责任编辑 郑筱梅)