



基于有限理性的交通方式划分模型

左志*, 潘晓锋

(大连理工大学 交通运输学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 考虑出行者有限理性的特点,建立改进的交通方式划分模型.通过问卷调查,确定出行者方式选择各影响因素的权重,以及各交通方式在不同因素下的表现;运用 TODIM 方法,计算各交通方式的价值;基于有限理性,建立交通方式选择 Probit 模型;讨论模型中参数变化对交通方式划分的影响;对比上班和购物出行,分析不同出行目的对方式选择的影响.研究表明,基于有限理性的交通方式划分模型能够体现不同出行目的下出行者出行方式选择偏好;参数 θ 体现出行者的认知程度,在该模型里应在 $(0,2)$ 中取值.

关键词: 交通运输系统工程;方式划分模型;TODIM 方法;有限理性;多准则决策

中图分类号:U491.1

文献标识码:A

doi:10.7511/dllgxb201405008

0 引言

由于影响因素多,加之习惯、爱好等难以测定的因素存在,多使用非集计模型对交通方式的选择进行预测^[1].Hensher 等结合 SP 调查数据和 RP 调查数据,选择多个影响因素建立了方式划分 MNL 模型^[2].Cherchi 等通过问卷调查建立了意大利 Cagliari 市的居民出行 Nest Logit 模型,并分析了新增加一条火车线路对原有居民出行选择行为的影响^[3].孙启鹏等考虑了出行费用的动态变化,建立了基于动态广义费用的交通方式选择 Logit 模型^[4].罗剑等利用 S_B 分布来描述出行者对出行时间的单向偏好性,建立了 Logit 交通方式分担模型和基于 S_B 分布的 Mixed Logit 交通方式分担模型^[5].传统非集计模型的理论基础是随机效用理论,随机效用理论的基本前提之一是“理性人假设”,即认为决策者是完全理性的,并且追求自身利益的最大化.然而现有的相关研究表明^[6-7],在多数情况下,决策者的选择行为并不表现为完全理性.

究决策者的有限理性行为提供了一个有力的工具^[8-9],已有研究将前景理论运用到交通方式划分模型之中.秦世环分析了出行者出行前、出行中和出行后 3 个阶段出行选择行为过程,得到出行者感知广义出行成本模型,并建立了基于前景理论的出行方式与路径联合选择模型^[10].罗清玉等根据出行者出行特点建立了基于前景理论的出行方式选择模型,通过算例得出了公交车、私家车和出租车的分担率^[11].胡晓伟等分析了不同时间价值出行者在公交车、私家车和出租车 3 种方式下的主观感知费用,并基于前景理论研究了出行者在广义出行费用下、出行时间概率分布变化下和时间约束 3 种情景下的方式选择行为^[12].

基于前景理论的方式划分模型虽然考虑了出行者有限理性的特点,然而也存在着以下一些问题:第一,前景理论中参数取值通常不固定,受到具体决策情景、决策者的影响,且参数过多,给标定工作带来了困难;第二,现有的研究通常只考虑少数影响出行方式选择的因素,并利用时间价值建立广义出行费用模型,这给模型的准确性造成了一定的影响,且时间价值也是一个因人、因地而

Kahneman 和 Tversky 提出的前景理论为研

异的随机变量. 鉴于此, 本文考虑出行者有限理性的特点以及前景理论在多准则决策中的不足, 选取出行方式选择的多个主要影响因素, 利用 TODIM(交互与多准则决策)方法, 建立交通方式划分的 Probit 模型.

TODIM 方法由 Gomes 等在前景理论的基础上提出^[13]. 它继承了前景理论的主要思想, 考虑了决策者的有限理性行为, 认为决策者根据参考点判断得失, 同时决策者对损失表现得更加敏感. TODIM 方法通过计算决策者对两两方案比较的价值来解决多准则决策问题, 相比前景理论, 具有考虑因素多、涉及参数少、计算简单等特点.

1 基于 TODIM 方法的方式划分模型

TODIM 方法的主要思想是修正前景理论中价值函数的形式, 使其能够同时考虑多个判断准则, 并且满足价值函数原有的图像特征(如图 1 所示).

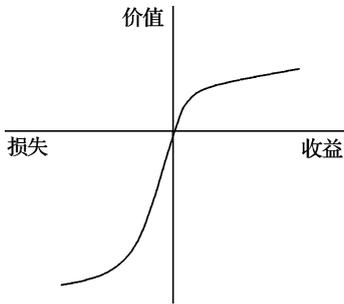


图 1 TODIM 方法中的价值函数

Fig. 1 Value function of the TODIM method

影响出行者出行方式选择的因素众多, 主要可分为交通特性、个人属性、家庭属性、地区属性和时间属性等^[1]. 选取适当的判断准则之后, 通过打分给予各准则以权重, 同时将权重最高的准则设为参考准则, 并且将所得权重归一化. 判断准则 i 归一化后的权重记为 w_i .

根据选定的判断准则, 可以得到归一化后各种交通方式在不同准则下的判断矩阵 \mathbf{P} . 根据判断矩阵 \mathbf{P} 以及准则权重, 通过计算可以得到各种交通方式两两之间比较的价值. 价值函数的表达式为^[14]

$$V_{ij} = \sum_{c=1}^m \Phi_c(A_i, A_j) \quad (1)$$

$$\Phi_c(A_i, A_j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{\sum_{c=1}^m \tau w_{rc} (P_{ic} - P_{jc})}{\omega_{rc}}}; & P_{ic} - P_{jc} > 0 \\ 0; & P_{ic} - P_{jc} = 0 \\ -\sqrt{\frac{\sum_{c=1}^m \tau w_{rc} (P_{jc} - P_{ic})}{\omega_{rc}}}; & P_{ic} - P_{jc} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: V_{ij} 表示第 i 种交通方式相对第 j 种交通方式的价值(此时第 j 种交通方式充当了参考点的角色); A_i 表示第 i 种交通方式; m 为判断准则的个数; $\Phi_c(A_i, A_j)$ 表示在第 c 个准则下第 i 种交通方式相对第 j 种交通方式的价值; P_{ic} 表示判断矩阵第 i 行第 c 列元素, 即第 i 种交通方式在第 c 个准则下的分数(归一化之后); w_{rc} 表示第 c 个准则的权重与参考准则权重的比值, 即 $w_{rc} = w_c/w_r$; μ 为参数.

为了与前景理论中的价值函数相对应, 式(2)可以写成如下形式:

$$\Phi_c(A_i, A_j) = \begin{cases} \left(\frac{\sum_{c=1}^m \tau w_{rc} (P_{ic} - P_{jc})}{\omega_{rc}} \right)^\alpha; & P_{ic} - P_{jc} > 0 \\ 0; & P_{ic} - P_{jc} = 0 \\ -\lambda \left(\frac{\sum_{c=1}^m \tau w_{rc} (P_{jc} - P_{ic})}{\omega_{rc}} \right)^\beta; & P_{ic} - P_{jc} < 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\alpha = \beta = 0.5$; $\lambda = 1/\mu$, 表示决策者的损失规避程度, 即风险态度, 且 $\lambda > 1$. Tversky 等由实验得出 $\lambda = 2.25$ ^[9], Xu 等得到出行路径选择问题中 $\lambda = 1.51$ ^[15]. 考虑到后者的情景更加符合本文的研究, 故这里取 $\lambda = 1.51$.

式(3)的函数图像如图 1 所示, 在损失段上图像变化更显著, 体现了出行者“对待损失比对待收益更加敏感”的特点. 根据式(1)、(3), 可以得到不同交通方式两两比较的价值矩阵 \mathbf{V} . 同一行不同列的价值并不相同, 表示某种交通方式的价值与选取的参考点有关.

Gomes 等在其研究中将所有选项的价值归

一化,根据价值的大小对各选项进行排序,认为决策者会选择价值最大的选项^[13].因此,可以认为 TODIM 方法中的价值是一种基于有限理性的特殊的“效用”.考虑到不同出行者风险态度、认知水平的差异,本文提出感知价值的概念,同时认为感知价值由固定项和随机项组成,即

$$S_i = \theta V_i + \epsilon \tag{4}$$

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^n V_{ij}}{n} \tag{5}$$

式中: S_i 为第*i*种交通方式的感知价值; V_i 为感知价值的固定项; ϵ 为感知价值的随机项,且 $E(\epsilon) = 0$; θ 为价值的度量; V_{ij} 由式(1)、(3)计算得到; n 为可选交通方式数.考虑到传统 Logit 模型的缺陷(主要是其 IIA 特性),本文假设随机项 ϵ 服从正态分布,从而得到 Probit 模型.由于 Probit 模型求解复杂,本文采用蒙特卡罗模拟法求解得到各交通方式划分比例.

2 算 例

现以数值算例分析说明基于 TODIM 方法的交通方式划分模型.本文主要从宏观的角度对某一城市的交通方式划分进行分析,因此重点考虑各种交通方式的不同特性,采用费用、舒适性、安全性、准时性,以及等待时间作为判断准则,同时考虑出行目的(上班和购物)对交通方式划分的影响.研究对象包括常规公交、地铁、出租车和私家车 4 种.

2.1 准则权重及判断矩阵的确定

准则权重及判断矩阵通过问卷调查确定.被调查者主要是高校师生群体(教师、博士研究生和硕士研究生),其中多数拥有机动车驾驶证.被调查者被要求对不同的判断准则以及交通方式在各准则下的表现进行打分.本次调查共收集 74 份问卷,其中有效问卷 70 份,问卷有效率为 94.6%.一般而言,样本数大于 30 可视为大样本.因此,本次问卷调查的样本数可以保证统计结果的稳定性和可靠性.调查结果如表 1~3 所示.

2.2 各交通方式价值及选择概率的计算

根据本文提出的交通方式划分模型,结合算例的具体数据,可以得到不同出行目的下的各交

通方式价值矩阵,如表 4、5 所示.

表 1 不同出行目的各判断准则的权重

Tab. 1 Weights of criteria with different travel purposes

出行目的	权重				
	费用	舒适性	安全性	准时性	等待时间
上班 (归一化)	4 (0.210 5)	3 (0.157 9)	4 (0.210 5)	4 (0.210 5)	4 (0.210 5)
购物 (归一化)	4 (0.235 3)	3 (0.176 5)	4 (0.235 3)	3 (0.176 5)	3 (0.176 5)

表 2 上班时各交通方式在不同准则下的评价(归一化后)

Tab. 2 Evaluation of traffic modes against criteria in going-to-work trip (after normalization)

交通方式	评价(归一化后)				
	费用	舒适性	安全性	准时性	等待时间
常规公交	0.384 6	0.142 9	0.230 8	0.200 0	0.153 8
地铁	0.307 7	0.214 3	0.307 7	0.266 7	0.230 8
出租车	0.153 8	0.285 7	0.230 8	0.266 7	0.230 8
私家车	0.153 8	0.357 1	0.230 8	0.266 7	0.384 6

表 3 购物时各交通方式在不同准则下的评价(归一化后)

Tab. 3 Evaluation of traffic modes against criteria in shopping trip (after normalization)

交通方式	评价(归一化后)				
	费用	舒适性	安全性	准时性	等待时间
常规公交	0.384 6	0.142 9	0.214 3	0.153 8	0.153 8
地铁	0.307 7	0.214 3	0.285 7	0.307 7	0.230 8
出租车	0.153 8	0.285 7	0.214 3	0.230 8	0.230 8
私家车	0.153 8	0.357 1	0.285 7	0.307 7	0.384 6

表 4 上班时各交通方式价值矩阵

Tab. 4 Value matrix of traffic modes in going-to-work trip

	常规公交	地铁	出租车	私家车
常规公交	0	-1.137 5	-0.824 6	-1.159 3
地铁	0.143 5	0	0.027 0	-0.563 9
出租车	-0.185 7	-0.704 6	0	-0.755 1
私家车	-0.058 9	-0.480 7	0.286 1	0

表 5 购物时各交通方式价值矩阵

Tab. 5 Value matrix of traffic modes in shopping trip

	常规公交	地铁	出租车	私家车
常规公交	0	-1.101 0	-0.692 4	-1.397 8
地铁	0.205 6	0	0.171 3	-0.573 6
出租车	-0.158 3	-0.918 2	0	-1.235 2
私家车	0.140 4	-0.125 8	0.523 1	0

由于随机项 ϵ 服从正态分布,可知感知价值 (S_1, S_2, S_3, S_4) 服从多维正态分布. 各下标的意义如下:“1”表示常规公交,“2”表示地铁,“3”表示出租车,“4”表示私家车.

假设出行者对所有交通方式的感知方差均为1. 按照服务对象的不同,将4种交通方式划分为公共交通(常规公交和地铁)和私人交通(出租车和私家车)两类^[16],公共交通与私人交通相互独立. 由于地铁运行于城市地下空间,相对独立,可设常规公交和地铁的相关系数为0.3;虽然出租车与私家车的性质类似,但是考虑到出租车存在“拼车”现象,设两者的相关系数为0.7. 由相关系数可得协方差,即有

$$S \sim MVN(\theta V_i, \Sigma) \quad (6)$$

其中 Σ 为协方差矩阵,且

$$\Sigma = \begin{pmatrix} 1 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.3 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0.7 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

由此可推导出 Probit 模型,应用蒙特卡罗模拟法,产生大量随机数,通过计算可得不同出行目的下各种交通方式的选择概率. 具体如表6所示.

表6 不同出行目的各交通方式选择概率($\theta=1$)

Tab. 6 Choice probabilities of traffic modes with different purposes ($\theta=1$)

出行目的	选择概率/%			
	常规公交	地铁	出租车	私家车
上班	10.84	38.64	14.73	35.79
购物	9.18	37.70	6.82	46.30

2.3 参数值 θ 的影响

这部分讨论参数 θ 的变化对各交通方式选择概率的影响. 图2、3分别显示了上班出行和购物出行时, θ 从0变化至3各个交通方式的选择概率.

2.4 结果分析

从表4中得知,常规公交相对于出租车的价值为-0.8246(参考点为出租车),而反过来出租车相对于常规公交的价值为-0.1857(参考点为常规公交). 两种交通方式相互比较的价值均为负值(表4、5中其他部分数据也表现出同样的特

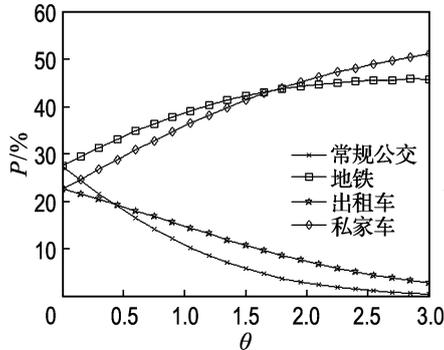


图2 上班时各交通方式选择概率随 θ 的变化

Fig. 2 Choice probabilities' change with θ in going-to-work trip

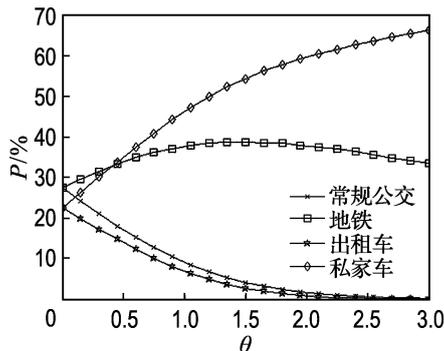


图3 购物时各交通方式选择概率随 θ 的变化

Fig. 3 Choice probabilities' change with θ in shopping trip

性),这一方面说明参考点在出行决策中的重要性,另一方面也说明出行者的认知是很不稳定的,对其有限理性的讨论是很有必要的.

由表6可知,无论是上班出行或者购物出行,常规公交的选择概率都不高. 究其原因,主要是常规公交除了在费用上表现突出外,在其他方面表现均较差,尤其是在等待时间上,而等待时间恰好是出行者看重的因素. 因此,要想提高常规公交的吸引力,除了降低票价之外,还要努力提高其服务水平,保证公交车辆的准点率,适当增加发车班次. 发展快速公交是一个值得考虑的选择.

从图2、3可知,不同出行目的对交通方式的划分存在影响,主要是不同目的下出行者对各判断准则的要求不同,且各交通方式在不同准则下的评价也不尽相同(由表1~3可知). 对于以上班

为目的的出行,私家车和地铁始终是最主要的两种出行方式;而对于以购物为目的的出行,地铁的吸引力下降了,出行者明显倾向于选择私家车出行.究其原因,主要是因为购物出行中,出行者对准时性和等待时间的要求降低了,对舒适性和安全性的要求增大了.而地铁的舒适性显然比不上私家车,这在表2、3中均有体现.同时,上班出行中常规公交和出租车的比例均高于购物出行,主要是上班出行时,出行者对两种方式在安全性和准时性方面的评价较购物出行时高,这也可从表2、3中得知.

参数 θ 是价值的度量,表示出行者对各种交通方式的认知程度. θ 越大,表示对各种交通方式认知程度越高,反之则越低.从图2、3可以看出,随着 θ 的不断增大,私家车必将占据绝对优势.但是,在现实生活中,虽然私家车出行显著增长,但是其他出行方式也占据一定比例.这说明出行者的认知水平是有限的,即 θ 是不会无限增大的.参照图2、3,在本文提出的模型中,当参数 θ 在(0,2)中取值时,即可包含绝大多数情况,故 θ 可在(0,2)中取值.

3 结 语

出行者的出行方式选择是一个涉及心理因素的复杂的多准则决策过程.现有研究或忽略出行者有限理性的特点,或只对少数可量化因素进行建模.本文从有限理性的角度出发,结合多准则决策TODIM方法和Probit模型,通过问卷调查提出了一个改进的交通方式划分模型.由一个算例得出了不同出行目的下各种交通方式的分担率,讨论了参数 θ 对结果的影响,并给出了参数 θ 的取值范围.结果表明该模型符合实际,可用作交通方式分担率预测的工具.需要注意的是,由于每个城市的交通结构不尽相同,在运用该模型进行具体规划预测时,需要针对实际情况具体分析.同时,大量的、多样的调查样本有助于完善模型,今后的研究可以在这方面不断深入.

参考文献:

[1] 邵春福. 交通规划原理[M]. 北京:中国铁道出版

社,2010.

SHAO Chun-fu. **Traffic Planning** [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2010. (in Chinese)

[2] Hensher D A, Bradley M. Using stated response choice data to enrich revealed preference discrete choice models [J]. **Marketing Letters**, 1993, **4**(2): 139-151.

[3] Cherchi E, de Dios Ortúzar J. Mixed RP/SP models incorporating interaction effects [J]. **Transportation**, 2002, **29**(4):371-395.

[4] 孙启鹏,朱磊,陈波. 基于动态广义费用的客运通道交通方式选择Logit模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, **13**(4):15-22.

SUN Qi-peng, ZHU Lei, CHEN Bo. A dynamic generalized cost based Logit model for passenger corridors [J]. **Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology**, 2013, **13**(4):15-22. (in Chinese)

[5] 罗剑,王树盛,李旭宏. 基于 S_B 分布的Mixed Logit交通方式分担模型及其验证[J]. 公路交通科技, 2007, **24**(6):110-113.

LUO Jian, WANG Shu-sheng, LI Xu-hong. Mixed Logit traffic mode split model based on S_B distribution and its validation [J]. **Journal of Highway and Transportation Research and Development**, 2007, **24**(6):110-113. (in Chinese)

[6] Allais M. Le comportement de l'homme rationnel devant le risque; Critique des postulats et axiomes de l'école Américaine [J]. **Econometrica**, 1953, **21**(4):503-546.

[7] Ellsberg D. Risk, ambiguity, and the Savage axioms [J]. **The Quarterly Journal of Economics**, 1961, **75**(4):643-669.

[8] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk [J]. **Econometrica**, 1979, **47**(2):263-292.

[9] Tversky A, Kahneman D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty [J]. **Journal of Risk and Uncertainty**, 1992, **5**(4): 297-323.

[10] 秦世环. 基于前景理论的出行方式与路径联合选择行为研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2013.

QIN Shi-huan. Study on travel mode and path

- choice behavior based on prospect theory [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013. (in Chinese)
- [11] 罗清玉, 吴文静, 贾洪飞, 等. 基于前景理论的居民出行方式选择分析[J]. 交通信息与安全, 2012, **30**(2):37-40.
- LUO Qing-yu, WU Wen-jing, JIA Hong-fei, *et al.* Analysis of residents travel mode choice based on prospect theory [J]. **Journal of Transport Information and Safety**, 2012, **30**(2):37-40. (in Chinese)
- [12] 胡晓伟, 王健, 孙广林. 有限理性下出行者方式选择行为[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, **43**(12):114-118.
- HU Xiao-wei, WANG Jian, SUN Guang-lin. Traveler's mode choice behavior analysis under bounded rational [J]. **Journal of Harbin Institute of Technology**, 2011, **43**(12):114-118. (in Chinese)
- [13] Gomes L F A M, Lima M M P P. TODIM: Basics and application to multicriteria ranking of projects with environmental impacts [J]. **Foundations of Computing and Decision Sciences**, 1992, **16**(4):113-127.
- [14] Gomes L F A M, Rangel L A D. An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties [J]. **European Journal of Operational Research**, 2009, **193**(1):204-211.
- [15] XU Hong-li, LOU Ying-yan, YIN Ya-feng, *et al.* A prospect-based user equilibrium model with endogenous reference points and its application in congestion pricing [J]. **Transportation Research Part B: Methodological**, 2011, **45**(2):311-328.
- [16] 姚丽亚, 孙立山, 关宏志. 基于分层 Logit 模型的交通方式选择行为研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2010, **34**(4):738-741.
- YAO Li-ya, SUN Li-shan, GUAN Hong-zhi. Study on modal split method based on nested Logit model [J]. **Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering**, 2010, **34**(4):738-741. (in Chinese)

Traffic modal split model based on bounded rationality

ZUO Zhi*, PAN Xiao-feng

(School of Transportation & Logistics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: An improved traffic modal split model is proposed considering travelers' bounded rationality. The weights of influence factors to mode choice and the evaluations of traffic modes against each factor are defined through a questionnaire survey. The value of each traffic mode is calculated by TODIM method. A Probit model of traffic mode choice is proposed on the basis of bounded rationality. The impact of parameters' change of the model on traffic modal split is discussed. Comparing working and shopping, the influence of different travel purposes on mode choice is analyzed. Experimental results show that the traffic modal split model based on bounded rationality can reflect travelers' preference of mode choice under different travel purposes. The parameter θ represents travelers' cognition level, and in this model θ should be valued in $(0, 2)$.

Key words: engineering of communications and transportation system; modal split model; TODIM method; bounded rationality; multi-criteria decision-making