

文章编号: 1009-6744 (2010) 01-0140-05

行程时间波动性对路径选择影响的离散选择分析

干宏程^{*1}, 叶昕²

(1. 上海理工大学 管理学院, 上海 200093; 2. 美国国家理性增长研究与教育中心, 马里兰州, 美国)

摘要: 探索了行程时间波动性对驾驶员路径选择行为的影响, 研究采用意向调查获取驾驶员从两条行程时间和行程时间波动性不同的路径中选择路径的行为数据, 采用离散选择建模方法建立估计路径选择概率的二元 Probit 模型, 揭示驾驶员对行程时间和行程时间波动性进行权衡的行为机理. 行程时间和行程时间波动性分别用期望行程时间、行程时间标准偏差来度量. 研究发现: (1) 路径的行程时间和行程时间波动性都会对路径选择产生负面影响. (2) 中等年龄段驾驶员, 较之比他们年轻的和年长的, 对行程时间波动性越看重, 对行程时间波动更敏感, 选择行程时间不确定的路径的概率更小. (3) 出租车驾驶员对行程时间更敏感, 选择行程时间更短的路径的倾向性更大. (4) 驾驶经验丰富的驾驶员选择行程时间不确定的路径的可能性更小.

关键词: 城市交通; 行程时间波动性; 路径选择; 离散选择分析; 意向调查; 二元 Probit 模型

中图分类号: U491

文献标识码: A

Investigating the Effect of Travel Time Variability on Drivers' Route Choice Decision via Discrete Choice Analysis

GAN Hong-cheng¹, YE Xin²

(1. Management College, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China;

2. The National Center for Smart Growth Research and Education, University of Maryland, College Park, Maryland, USA)

Abstract: This paper investigates the effect of travel time variability on drivers' route choice behavior. A stated preference survey is conducted to collect drivers' hypothetical choice data between two alternative routes with designated unequal travel time and travel time variability. A binary choice model is developed to quantify trade-offs between travel time and travel time variability across various types of drivers. In the model, travel time and travel time variability are respectively measured by expectation and standard deviation of random travel time. The model shows that travel time and travel time variability on a route exert similarly negative effects on drivers' route choice behavior. In particular, it is found that middle-age drivers are more sensitive to travel time variability and less likely to choose a route with travel time uncertainty than younger and elder drivers. In addition, it is shown that taxi drivers are more sensitive to travel time and more inclined to choose a route with less travel time. Drivers with rich driving experience are less likely to choose a route with uncertain travel time.

Key words: urban traffic; travel time variability; route choice; discrete choice analysis; stated preference survey; binary Probit model

CLC number: U491

Document code: A

收稿日期: 2009-03-16 修回日期: 2009-07-29 录用日期: 2009-09-21

基金项目: 国家自然科学基金(50878156); 上海市重点学科建设项目(S30504); 上海教委科研创新基金(09YZ205).

作者简介: 干宏程(1978-), 男, 副教授, 博士.

*通讯作者: hongchenggan@126.com

1 引言

影响驾驶员路径选择行为的因素很多,如行程时间(travel time, TT)、出行费用、行程时间可靠性等.近年来,探索行程时间波动性(travel time variability, TTV)对路径选择行为的影响作为出行者行为研究的重要内容,越来越受到学术界关注^[1-10].在欧美发达国家,学者们主要是利用意向行为(stated preference, SP)数据或实际行为(revealed preference, RP)数据,采用数理统计或者更先进的离散选择分析(discrete choice analysis)等方法,解析路径选择行为与 TTV 的关系.近年来较有代表性的工作有 Small et al.、Liu et al.、Lam and Small、Bates et al.、Abdel-Aty et al.的研究^[1-9].正如 Bates et al.指出的,现实世界中要找到“行程时间波动性足够大、且便于研究人员建立统计意义上可靠的数学模型”的实际出行情境,非常困难,因此大多数研究都借助 SP 数据进行行为分析^[5].仅有少量研究利用 RP 数据进行分析,例如,Small 的研究团队利用美国 SR 91 州际高速公路收费项目的 RP 数据对行程时间和行程时间可靠性的价值进行量度和建模^[3,4].最近,也有学者利用交通实测数据辨识路径选择行为模型(以 mixed-logit model 表达)的参数,考察驾驶员对 TT、TTV、及收费的偏好^[1,2].国内,相关专题研究的报道还很少.

本文利用 SP 调查获取上海驾驶员路径选择行为数据,采用离散选择分析的方法对路径选择行为

进行建模,解析路径选择行为与 TTV 的关系.

2 驾驶员路径选择行为的 SP 数据获取

我们采用问卷形式的 SP 调查方法,获取路径选择行为数据.SP 问卷为驾驶员构造了起终点之间含有两条替换路径的假象出行场景,并借鉴 Abdel-Aty et al.的研究^[9],对两条路径的属性进行设定(见表 1),以便捕获驾驶员对行程时间价值和行程时间波动性价值的权衡(trade off).如表 1 所示,共设计了 5 个路径选择情境,这些情境中路径 1 行程时间稳定,恒为 30 分钟,是一条理想的路径,路径 2 的行程时间虽然较路径 1 的要短些,但是存在波动性.为使 SP 出行情景贴近实际出行情境,问卷中假定起点为上海浦东国际机场,终点为五角场商务圈,路径 1 主要由快速路组成.

路径的行程时间可视为随机变量,并用它的期望(记为 $E(t)$)和标准偏差(记为 $Std(t)$)来表征^[9]. $E(t)$ 和 $Std(t)$ 的计算公式如下:

$$E(t) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \tag{1}$$

$$Std(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [t_i - E(t)]^2}{N - 1}} \tag{2}$$

路径 2 的 $E(t)$ 和 $Std(t)$ 列于表 1 的第 4 和第 5 列.

表 1 SP 问卷中两条路径的属性及其选择比例

Table 1 Scenario design for stated preference questions

路径选择情景	路径 1 行程时间/频率	路径 2 行程时间/频率	路径 2 的期望行程时间	路径 2 的行程时间标准偏差	路径 2 选择比例
1	30 min/ 每天	20 min/ 4 天 40 min/ 1 天	24 min	8.94 min	49.3%
2	30 min/ 每天	20 min/ 4 天 60 min/ 1 天	28 min	17.89 min	25.7%
3	30 min/ 每天	20 min/ 3 天 30 min/ 2 天	24 min	5.48 min	82.9%
4	30 min/ 每天	20 min/ 3 天 45 min/ 2 天	30 min	13.69 min	35.0%
5	30 min/ 每天	20 min/ 9 天 120 min/ 1 天	30 min	31.62 min	10.7%

SP 调查的地点为浦东机场的多层停车场,调查时间为 2007 年 4 月.随机调查了 171 名驾驶员,最终得到 140 份有效问卷,于是共有 700(140×5)个路径选择的样本.调查内容包括两部分:驾驶员

的个体属性(如性别、年龄、驾龄、使用快速路频率、用车类型)和驾驶员的路径选择.

被调查的驾驶员中,年龄分布在 20 岁至 56 岁之间,平均年龄 36.29 岁,年龄标准偏差为 8.01

岁. 驾龄分布在1年至25年之间, 平均驾龄为6.74, 驾龄标准偏差为4.79年. 样本的年龄分布与驾龄分布较好地覆盖了驾驶员群体, 对于模型估计而言有足够的变异程度.

性别分布情况为, 男性占74.3%, 女性占25.7%. 用车类型的分布情况为: 私家车占42.1%, 单位公车占32.1%, 出租车占22.9%, 其他类型用车占2.9%. 表1中第6列给出了驾驶员选择路径2的百分比. 由表1可知, 情境一和情境三中路径2的TT期望值最小, 为24分钟, 吸引的驾驶员比例最高, 分别为49.3%和82.9%, 其中情境三由于TTV更小, 更具吸引力. 情境二和情境四分别吸引了25.7%和35.0%的驾驶员选择路径2. 情境二的TT期望值较之情境四的少了2分钟, 但是TT标准偏差多了4分钟, 这使得选择路径2的百分比减少了9.3%(35.0% - 25.7%). 这从某种程度上反映了驾驶员在TT的价值与TTV的价值之间的一种权衡. 驾驶员可能会选择一条期望TT稍长但TTV更小的路径, 以确保较高的行程时间可靠度. 情境五的期望行程时间与情景四中的相同, 但是TTV大得多, 因此仅吸引了10.7%的驾驶员.

接下去使用离散选择分析方法, 进一步考察期望行程时间、TTV、驾驶员个体特征对路径选择概率的影响.

3 SP数据的离散选择分析

3.1 建模方法

离散选择分析方法以随机效用理论为基础, 假设作为行为主体的决策者总是从拥有多种选择方案中选择效用最大的选择项. 本研究中, 驾驶员的路径选择是二元选择, 因此本文采用离散选择模型家族中的二项probit模型^[11-13]进行多变量分析, 量化路径选择与TTV的关系. 对于二元probit模型, 效用函数中的随机项服从独立同分布(IID)的正态分布, 决策者*i*选择路径时所基于的随机效用函数可表达为如下形式:

$$U_{ik}^* = (\alpha + \beta x_i) + (\gamma + \theta x_i) dE(t)_k + (\delta + \lambda x_i) Std(t)_k + \epsilon_{ik} \quad (3)$$

式中 *i* 是表示决策者的指示变量, *k* 是表示SP出行情境的指示变量, x_i 是决策者个体属性(如年龄、性别等)组成的向量, $dE(t)_k$ 表示出行情境*k*

中路径2的期望TT与路径1的TT(30 min)的差值, $Std(t)_k$ 是情境*k*中路径2的TT标准偏差, $\alpha, \beta, \gamma, \theta, \delta$ 及 λ 是解释变量的系数, ϵ_{ik} 是随机扰动项, 服从独立同分布的正态分布. 进一步地, 公式(3)可以写成如下形式:

$$U_{ik}^* = \alpha + \beta x_i + \gamma dE(t)_k + \theta x_i \times dE(t)_k + \delta Std(t)_k + \lambda x_i \times Std(t)_k + \epsilon_{ik} \quad (4)$$

显然, 如果 $x_i \times dE(t)_k$ 、 $Std(t)_k$ 和它们的交叉项 $x_i \times Std(t)_k$ 被构造于一个线性参数效用函数中, 那么所有的系数都可以在二元probit模型的标准框架中加以估计. 路径2被决策者*i*选择的概率可以根据以下公式估计:

$$\Pr(\text{Route } 2)_{ik} = \Phi[\alpha + \beta x_i + \gamma dE(t)_k + \theta x_i dE(t)_k + \delta Std(t)_k + \lambda x_i Std(t)_k] \quad (5)$$

$\Phi[\cdot]$ 是标准正态分布的累积分布函数. 通过构造对数似然函数和应用最大似然估计模型, 可以对模型参数进行估计.

3.2 模型估计结果及讨论

SP调查中每位驾驶员回答5个问题, 共有140个驾驶员, 则共有样本700个用于模型估计. 我们采用GAUSS软件^[14]估计模型, 考虑的解释变量包括年龄、驾龄、性别、用车类型、 $dE(t)$ 、 $Std(t)$ 、以及所有驾驶员个体属性与 $dE(t)$ 和 $Std(t)$ 的交叉乘积项. 最终留在模型中的变量如表2所示, 它们都获得了显著系数.

表2 二元Probit模型的估计结果

变量	系数	T值
常数项	0.592 1	2.613
期望行程时间(分钟)	-0.651 8	-2.377
期望行程时间(分钟)×年龄(岁)	0.035 2	2.337
期望行程时间(分钟)×年龄平方(岁 ²)	-0.000 5	-2.362
期望行程时间(分钟)×出租车司机	-0.144 3	-4.142
行程时间标准偏差(分钟)	-0.103 2	-4.775
行程时间标准偏差(分钟)×年龄(岁)	0.001 1	2.242
“驾龄大于10年”哑变量	-0.302 2	-2.166
$L(\beta)$	-377.69	
$L(c)$	-473.06	
Adj. $R^2(c)$	0.186 8	
样本量	700	

由表2可知, “驾龄大于10年”哑变量的系数为负, 这与直觉经验相符, 即, 驾驶经验越丰富, 选择

TTV 大的路径的可能性越小。“期望行程时间”在模型中取负系数,而它与“年龄”和“年龄平方”的交叉项分别取正系数和负系数。这说明路径 2 的期望行程时间越大,选择路径 2 的概率越小,这是显然的。年龄对路径选择则呈现出一种二次型的非线性影响,这意味着,对 35 岁 ($0.5 \times 0.035^2 / 0.005$) 的驾驶员而言,期望行程时间的系数最负,也即,35 岁驾驶员较之比他们年轻的和年长的驾驶员,对期望行程时间更加敏感。“出租车”与“期望行程时间”的交叉项取负系数,说明出租车驾驶员相比其他用车类型的驾驶员,对期望行程时间更加敏感。这可能是由于行程时间增加会影响出租车驾驶员的生意和收入。行程时间标准偏差取负系数,而它与“年龄”的交叉项取正系数,这说明路径的 TTV 越大,选择该路径的可能性越小,但是年龄大的驾驶员对 TTV 的忍耐度大于年轻的驾驶员。

为了度量驾驶员对期望行程时间与 TTV 的权衡,可以计算“期望行程时间相关的系数”和“行程时间标准偏差相关的系数”的比值。例如对于“非出租车驾驶员”,该比值计算如下:

$$R = \frac{-0.1032 + 0.0011Age}{-0.6518 + 0.0352Age - 0.0005Age^2} \quad (6)$$

式中 R 代表由 TT 量度的 TTV 的价值。换言之,驾驶员为避免 1 分钟的 TT 标准偏差,愿意牺牲 R 分钟的期望 TT。图 1 绘出了 R 值随年龄变化的曲线。由图 1 可知,年龄为 35 岁时, R 值最大,约为 2.0,这意味着 35 岁的驾驶员愿意牺牲 2 分钟的期望 TT,以减少 1 分钟的 TT 标准偏差。但是,在比 35 岁年轻和年长的驾驶员的眼中,TT 标准偏差的价值则没有那么大。例如,对于 20 岁的驾驶员, R 值为 0.5,对于 56 岁的驾驶员, R 值为 0.17。Abdel-Aty et al. 的研究^[8]发现,对于美国驾驶员, R 值为 1,但是该 R 值是一个总体值,没有对年龄进行区分。由图 2 可以判断,我们的模型中, R 的总体值应该大于 1,也就是说我国的驾驶员较之美国的驾驶员更“看重”TTV 的不利影响。

在日常出行(如去工作)中,TT 具有随机性,这迫使驾驶员会提早出发以避免迟到。驾驶员越追求准时(即迟到概率越小),就会越早出发。于是一些驾驶员会早于正式上班时间到达工作单位,从而

造成低效用的额外等待时间。为减少这种低效用的额外等待时间,驾驶员可能会选择一条期望 TT 稍长,但是 TTV 更小的路径。这可以通过一个例子来说明。简化起见,假设行程时间服从正态分布,驾驶员到目的地有两条路径可选用。第一条路径的 $E(t)$ 是 10 分钟, $Std(t)$ 是 2 分钟。为确保迟到概率小于 0.05,驾驶员必须提早 13.290 分钟 ($10 + 1.645 \times 2$) 出发,于是 $E(t)$ 是 10 分钟,而额外等待时间是 3.290 分钟。第二条路径的 $E(t)$ 是 11 分钟, $Std(t)$ 仅为 1 分钟。为确保迟到概率小于 0.05,驾驶员只需提早 12.645 分钟 ($11 + 1.645 \times 1$) 出发,于是 $E(t)$ 是 11 分钟,而额外等待时间仅为 1.645 分钟。如果驾驶员选择第二条路径,那么驾驶员预期会多花 1 分钟在路上,但是却减少了 1.645 分钟的低效用额外等待时间。因此由 R 量度的 TT 与 TT 标准偏差之间的权衡行为实质上反映了两方面因素:(1) 驾驶员对 TT 和 TTV 引起的额外等待时间的一种权衡。(2) 驾驶员追求的准时程度。

如果 TT 服从正态分布,那么很容易得到以下数学关系式:

$$R = K\Phi^{-1}(1-p) \quad (7)$$

式中 K 是额外等待时间(TTV 引起)价值与 TT 价值的比率,其值越大,额外等待时间的价值越大。 p 表示不迟到的概率,用于度量驾驶员追求的准时程度。 $\Phi^{-1}(\cdot)$ 是标准正态分布的累积分布函数的倒函数。

中等年龄段驾驶员的 R 值较高,可能与公式(7)所反映的两方面因素有关。也就是说,中等年龄段驾驶员较之比他们年轻的和年长的而言,可能更看重额外等待时间,或者更追求准时。

要注意的是,公式(7)是基于正态分布驾驶员推导出的,是为了更容易理解驾驶员对 TT 和 TT 标准偏差进行权衡的行为机理,故它不能推及到现实世界的一般情形中,因为现实世界中 TT 分布通常是未知的,而且驾驶员的路径选择行为远比本文所述的复杂。本文只是经验性地估计不同年龄的驾驶员对 TT 和 TT 标准偏差进行的权衡。

4 研究结论

本文利用 SP 调查获取上海驾驶员路径选择行

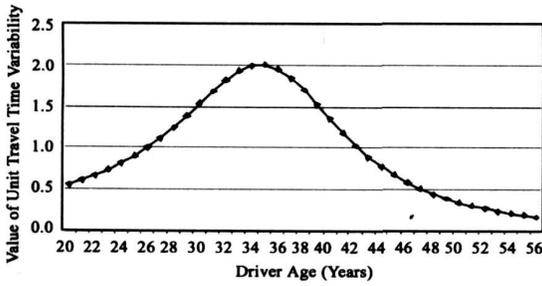


图1 TTV 的价值随年龄的分布情况

Fig. 1 Value distribution of unit travel time variability by driver age

为数据,采用离散选择分析对路径选择行为进行建模,建立了量化路径选择与TTV的关系的二元Probit模型。主要发现有:

(1) TT和TTV对路径选择有相似的负面影响。路径TT越大,路径选择概率越小,路径TTV越大,路径选择概率越小。

(2) 对于不同年龄的驾驶员,TTV的价值(重要性)有很大不同。中等年龄的驾驶员,较之比他们年轻的和年长的,对TTV更看重,对TTV更敏感,选择TT不确定的路径的可能性更小。

(3) 出租车驾驶员相对于其他用车类型的驾驶员,对TT更加敏感,选择TT更短的路径的倾向性更大。

(4) 驾驶经验丰富的驾驶员选择TT不确定的路径的可能性更小。

本文的研究一定程度上揭示了驾驶员路径选择倾向性的一般规律,以及驾驶员在行程时间和行程时间可靠度之间做出权衡的行为机理。由于经费等限制,SP调查的样本量不大。下一步将扩充SP调查以得到更可靠的模型估计结果,在资金和实验条件允许情况下尝试获取RP数据,进一步检验模型估计结果。

参考文献:

[1] LIU H X, HE X, Recker W. Estimation of the time-dependency of values of travel time and its reliability from loop detector data[J]. *Transportation Research, Part B*, 2007, 41(4): 448-461.

[2] LIU H X, Recker W, Chen A. Uncovering the contribution of travel time reliability to dynamic route choice using real-time loop data[J]. *Transportation Research, Part A*,

2004, 38(3): 435-453.

- [3] Small K A, Winston G, Yan J. Uncovering the distribution of motorists' preferences[R]. Working paper 01-02-10. Department of Economics, University of California, Irvine, 2002.
- [4] Lam T C, Small K A. The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment[J]. *Transportation Research, Part E*, 2001, 37: 231-251.
- [5] Bates J, Polak J, Jones P, et al. The valuation of reliability for personal travel[J]. *Transportation Research, Part E*, 2001, 37: 191-229.
- [6] Avineni E, Prashker J N. Sensitivity to travel time variability: travelers' learning perspective[J]. *Transportation Research, Part C*, 2005, 13(2): 157-183.
- [7] Noland and Polak. Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues[J]. *Transport Reviews*, 2002, 22(1): 39-54.
- [8] Abdel-Aty M, Kitamura R, Jovanis P. Investigating effect of travel time variability on route choice using repeated measurement stated preference data[J]. *Transportation Research Record*, 1995, 1493: 39-45.
- [9] Abdel-Aty M, Kitamura R, Jovanis P. Using stated preference data for studying the effect of advanced traffic information on drivers' route choice[J]. *Transportation Research, Part C*, 1997, 5(1): 39-50.
- [10] Jackson W B, Jucker J V. An empirical study of travel time variability and travel choice behavior[J]. *Transportation Science*, 1981, 16(4): 460-475.
- [11] Ben-Akiva M, Leman S R. *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*[M]. London: MIT Press, 1985.
- [12] 陆化普. 交通规划理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998. [LU H P. *Transportation planning theory and methodology*[M]. Beijing: Tsing University Press, 1998.]
- [13] 关宏志. 非集计模型—交通行为研究的工具[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005. [GUAN H Z. *Disaggregate model—a methodology tool for travel behavior research*[M]. Beijing: China Communications Press, 2005.]
- [14] Aptech. GAUSS 8.0. Aptech systems[M]. Washington: Maple Valley, 2006.