

多交通方式实时信息影响下的通勤者出行行为

孙亦凡, 干宏程

(上海理工大学 超网络研究中心, 上海 200093)

摘要: 为确定实时信息对于出行行为的影响, 探索了手机 APP 提供多交通方式实时出行者信息下的通勤者交通方式选择行为。采用意向调查方法, 获取了上海市居民在提供包含两条自驾路线(以高架为主和以地面为主)和一条停车换乘地铁路线的实时交通信息情况下的交通方式选择行为数据。运用描述性分析和多元 logit 模型, 得到了交通方式选择的主要影响因素。研究发现, 通勤者的驾龄、家庭私家车数量、开车频率、获取交通信息频率、停车换乘设施使用经历等个体属性, 行程时间和车厢拥挤程度等信息内容, 会显著影响出行决策。此外, 提出了对交通规划与管理 and 多交通方式出行者信息系统研发有指导意义的建议。

关键词: 多模式出行者信息; 路径选择; 停车换乘; 意向调查; 多元 logit 模型

中图分类号: U 491

文献标志码: A

Car Commuters' Travel Behaviors with Presence of Multi-Modal Travel Information

SUN Yifan, GAN Hongcheng

(Center for Supernetworks Research, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to determine the impact of real-time information on travel behaviors, car commuters' travel behaviors were investigated with the presence of a smartphone multi-modal travel information system. Based on a stated preference survey of Shanghai travelers, behavioral data were collected with the smartphone multi-modal travel information system that provides two auto routes (mainly based on overhead and ground) and one subway park-and-ride route. A descriptive analysis and multivariate logit model was proposed to identify contributing factors. It is shown that travel decisions are influenced by traveler attributes about the driving experience, number of family private cars, frequency of driving, frequency of traffic information access and user experience of subway park-and-ride as well as the information about travel time and crowdedness status of subway. In addition, some suggestions were given for guiding the traffic planning and management and developing the multi-modal travel information system.

Keywords: multi-modal travel information; route choice; park-and-ride; stated preference; multinomial logit model

收稿日期: 2017-11-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71871143); 上海市自然科学基金资助项目(15ZR1428100); 上海市曙光学者人才项目(15SG41)

第一作者: 孙亦凡(1994-), 女, 硕士研究生。研究方向: 信息管理与决策支持系统。E-mail: sunnyyifan@126.com

通信作者: 干宏程(1978-), 男, 教授。研究方向: 智能交通、交通规划。E-mail: hongchenggan@126.com

随着我国经济快速发展，私家车因其舒适、方便、灵活等优点，成为许多人的首选通勤交通工具，这导致高峰时段的交通拥堵现象和相关负面影响更为突出，为此，政府积极采取各种措施来缓解此类问题。在“互联网+交通”时代背景下，有些城市(如上海、北京、广州、宁波)开始注重研发多交通方式出行者信息系统，鼓励驾驶员通过智能手机获取实时交通信息，从而选择停车换乘地铁(subway park and ride, SP+R)。

目前，国内外许多研究者已经对人们的停车换乘行为展开了研究。云美萍等^[1]认为交通通畅和堵塞两种状态下通勤者选择 SP+R 的影响因素不同。Hess^[2]采用多元 logit 模型研究费用对于通勤者选择 SP+R 的影响。田丽君等^[3]基于累积前景理论对通勤者的停车换乘行为进行建模分析。向红艳等^[4]基于 NL 模型将出行时间作为上层，交通出行方式作为下层，建立居民停车换乘行为的模型。虽然上述研究运用各种行为理论解析了人们选择 SP+R 的各种影响因素，但是鲜有文献研究多交通方式出行者信息下的 SP+R 选择行为。

随着“互联网+”在交通管理中的加快应用，先进出行者信息系统(ATIS)对出行行为影响的学术研究从传统侧重单一交通方式，拓展为对多交通方式出行信息(或称多模式出行者信息)影响的研究^[5-7]，其中，由手机 APP 提供的多模式出行者信息(smartphone multi-modal travel information, SMMI)系统成为建立低碳可持续交通系统和增加城市流动性的一种趋势^[8-10]。

Gan^[11]在国际上首次研究出行者在 SMMI 提供关于自驾路线和 SP+R 路线的动态信息情况下出行行为的改变。该研究针对上海浦西地区到浦东地区(跨越黄浦江)通勤的出行情境展开，SMMI 提供一条自驾路线和 SP+R 路线的实时交通信息。本文拓展 Gan 的研究，探索包含两条自驾路线和一条停车换乘地铁路线的 SMMI 对出行者路径选择的影响。

上海现行政策规定，上下班高峰时期外地牌照的车辆不能使用高架快速路，公交车之外的社会车辆不能使用公交专用车道，可见政府对小汽车的出行限制严格。此外，国内外相关文献^[12-13]均显示小汽车通勤者是停车换乘设施的主要用户。因此，本文主要关注 SMMI 对小汽车通勤者 SP+R 选择行为的影响，这对政府制定停车换乘政策十分重要。

1 SMMI 影响下路径选择行为的问卷收集与分析

本文采用意向调查(stated preference, SP)方式收集 SMMI 影响下通勤者出行路径的选择行为数据。根据上海 SP+R 停车场布局的实际情况，本文假设通勤者以汶水路地铁站停车换乘设施附近的居民小区为起点，以静安寺附近的单位办公大楼为终点，然后结合实地观测和百度地图实时交通信息推荐路线得到 3 条实际可行的路线。构造的出行情境如图 1 所示。

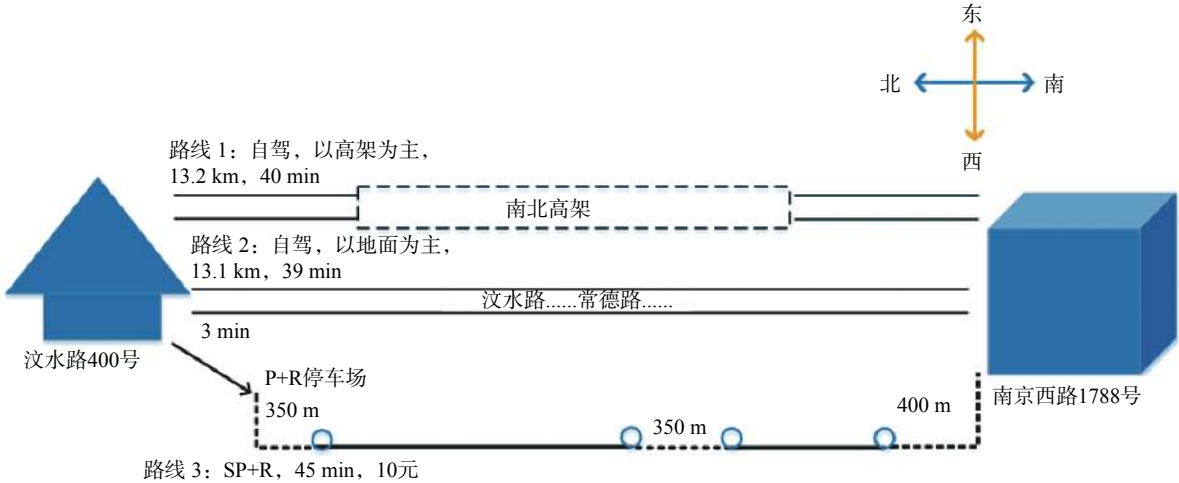


图 1 意向调查中的假设路线
Fig.1 Travel scenario in the SP survey

1.1 问卷设计及筛选

SP 调查的具体内容包括: 社会经济属性; 平日通勤出行特征; 假设情景下的路径选择。调查中如果通勤者在家中的初始路线选择是 SP+R (路线 3), 那么调查结束。如果通勤者选择路线 1 或路线 2, 那么通勤者可以看见路线 1 或路线 2 对应情景下手机 APP 提供的实时信息, 然后作出路径

选择。本文根据实际情况, 路线 1 的行程时间设计两种水平: 48 min, 60 min; 路线 2 的行程时间设计两种水平: 45 min, 58 min; 路线 3 的行程时间设计 3 种水平: 45 min, 37 min, 29 min; 路线 3 的车厢拥挤程度设计 3 种水平: 特别拥挤, 一般拥挤, 不拥挤; 然后利用正交设计得到 9 种假设情景。SMMI 系统提供的实时交通信息如图 2 所示。



图 2 意向调查中的出行情境和 SMMI

Fig.2 Travel scenario and SMMI message in the SP survey

本次调查一共回收 142 份有效问卷, 其中家庭拥有上海牌照私家车的 79 份。这 79 份中只有 1 份问卷的初始选择路径为 SP+R, 故本文处理的问卷为 78 份, 共有 702 (78*9) 条路线选择的观测数据用于后续数据分析和建模。

1.2 SP+R 现状分析

SP+R 现状调查结果显示, 只有 12.87% 的人没有听说过 SP+R, 55.13% 的人听过并使用过 SP+R。这表明 SP+R 经过几年的宣传推广已经有了一定的效果, 并且通勤者在某些情况下需要使用 SP+R 这种出行方式。但是, 结果也显示 74.4% 的通勤者使用 SP+R 的频率为 0~1 天/周, 11.5% 的通勤者使用 SP+R 的频率为 4~5 天/周。这表明 SP+R 并没有成为通勤者常用的上班方式, 政府仍然需要采取措施增加通勤者使用 SP+R 的频率, 使通勤者习惯使用 SP+R 上班。

1.3 车厢拥挤程度的分析

通过对有效问卷整理分析, 得出车厢的拥挤程度与通勤者选择路径的交叉分析结果, 见图 3。可以看出: 当车厢不拥挤时, 有 41% 的人选择 SP+R; 当车厢一般拥挤时, 有 28% 的人选择 SP+R; 当车厢特别拥挤时, 有 20% 的人选择 SP+R。这说明随

着车厢拥挤程度的提高, 通勤者选择 SP+R 的比例下降, SMMI 系统提供的车厢舒适程度信息是影响通勤者选择 SP+R 的重要因素。

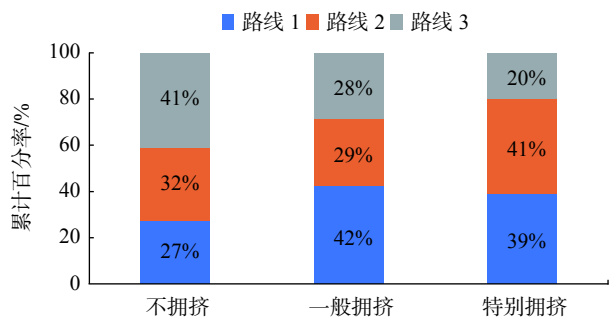


图 3 车厢拥挤程度与选择路线的交叉统计

Fig.3 Cross statistics of the crowdedness status of subway and the routing selection

1.4 出行路径时间分析

表 1 显示 3 条路线不同行程时间水平下, 3 条路线的选择比例。表中可以很明显地看出, 随着路线行程时间变长, 相应的路径选择比例明显降低。这表明 SMMI 系统显示的时间信息是影响通勤者选择 SP+R 的重要因素。

表 1 不同行程时间下选择路线的统计

Tab.1 Statistics of routing selection at different travel time

路线 1		路线 2		路线 3	
不同行程时间/min	百分率/%	不同行程时间/min	百分率/%	不同行程时间/min	百分率/%
40	54.86	39	24.79	29	53.42
48	8.33	45	7.12	37	21.74
60	3.34	58	2.56	45	12.60

2 路径选择行为的离散选择模型分析

离散选择模型被广泛应用于交通出行行为研究。Ben-Akiva 等^[14]和 McFadden^[15]认为先利用离散选择模型研究出行行为，再利用集计方法预测比传统交通社区层面的集计方法预测具有显著的优势。本研究中每个通勤者具有相同的选项集 $C_n=\{$ 路线 1, 路线 2, 路线 3 $\}$ ，因此采用多元 logit 模型进行建模分析。

在多元 logit 模型中，每个通勤者的效用函数相同，并且通勤者总是理性地选择效用最大的选项。3 条路线的效用函数表达式为

$$U_{ni} = V_{ni}(X_{ni}) + \varepsilon_{ni}$$

式中： U_{ni} 为通勤者 n 选择路线 $i(i=1, 2, 3)$ 的效用函数； V_{ni} 是影响通勤者 n 选择路线 i 的可观测变量组成的线性函数，称为系统效用； ε_{ni} 是服从 Gumbel 分布的随机值，称为随机效用，代表不可测量的效用。

综上可得通勤者 n 选择路线 i 的概率为

$$P_{ni} = \frac{e^{V_{ni}}}{e^{V_{n1}} + e^{V_{n2}} + e^{V_{n3}}}$$

a. 模型的估计结果。

本文采用 SAS9.4 进行建模，通过对影响变量类型的设定和数值的转化，以及不同模型之间的对比，最终进入模型的变量有时间、车厢拥挤度、驾龄、私家车拥有数量、开车频率、获取信息的频率、SP+R 的使用经历、以往上班的路线。模型的具体结果见表 2，表中 B 为模型估计的系数，sig 为估计系数的显著性。车厢不拥挤、一般拥挤的对照组是车厢特别拥挤；私家车拥有数量超过 1 辆的对照组是拥有 1 辆私家车；开车频率 4~7 天/周的对照组是 0~3 天/周；获取信息频率 4~7 天/周的对照组是 0~3 天/周；没听说过 SP+R、听说过但没使用过 SP+R 的对照组是使用过 SP+R；上班路线习惯走地面普通道路的对照组是上班路线习惯走高架快速路。

表 2 模型的参数估计

Tab.2 Related parameters estimation in the logit model

变 量	路线 1		路线 2		路线 3	
	B	sig	B	sig	B	sig
常数项	-0.792 6	0.072 0	1.008 7	0.017 1	—	—
时间(连续变量) X_1	-0.131 4	<0.000 1	-0.131 4	<0.000 1	-0.131 4	<0.000 1
车厢不拥挤 X_2	—	—	—	—	1.433 5	<0.000 1
车厢一般拥挤 X_3	—	—	—	—	0.706 2	0.004 5
驾龄(连续变量) X_4	0.485 3	<0.000 1	-0.213 5	0.079 3	—	—
私家车拥有数超过 1 辆 X_5	0.119 8	0.642 0	0.799 4	0.002 3	—	—
开车频率 4~7 天/周 X_6	1.224 9	0.001 5	1.375 2	<0.000 1	—	—
获取信息频率 4~7 天/周 X_7	-0.117 1	0.648 3	-1.024 9	0.000 2	—	—
没听说过 SP+R X_8	1.674 1	0.000 1	2.081 2	<0.000 1	—	—
听说过但没使用 SP+R X_9	-0.248 8	0.392 7	0.931 2	0.000 5	—	—
上班路线习惯走地面普通道路 X_{10}	0.769 4	0.001 4	0.368 5	0.155 7	—	—

b. 模型的结果分析。

由表2可得以下的结论。

(a)常数项。在正常情况下受访者对于3条路线的偏好。结果表示出勤者对于3条路线从小到大的偏好依次为以地面为主的路线、SP+R、以高架为主的路线。这说明虽然出勤者对于自驾的偏好较高,但是对于SP+R也有较高的接受能力,可以通过一定的政策调控提高出勤者对于SP+R的接受能力。

(b)时间。该模型中设定时间为共同变量,即3条路线的时间边际效用是一样的。系数为负,说明通勤者偏向于选择时间较短的路线,这与实际情况中通勤者相符。

(c)车厢拥挤程度是路线3的特有变量。不拥挤哑变量和一般拥挤哑变量的系数在0.05水平上显著,系数为正,且不拥挤的系数大于一般拥挤的系数(1.433 5>0.706 2),这说明车厢越不拥挤,人们选择SP+R的概率越大。

(d)驾龄。路线1的驾龄系数为0.485 3,并且在0.05的水平上显著异于零,说明相较于SP+R,驾龄越大的人越偏向于选择路线1。路线2的驾龄系数为-0.213 5,这说明相较于路线2,驾龄大的人更愿意选择SP+R。一般而言,驾龄越大的人,驾驶经验越丰富,对于自驾上班的偏好越强。但是,有经验的驾驶员一般都清楚在上海的上班期间以地面为主的自驾路线很容易因为种种原因造成堵车,这导致通勤者不能按时到达目的地。而SP+R由于定点发车定点到站的特点,使通勤者能更准确地预估行程,按时到达目的地。综上,驾龄越大的通勤者越偏好于路线1,然后是SP+R,最后是路线2。

(e)拥有的私加车数量。以拥有一辆私家车为参考对象,其中路线1的拥有私家车数量变量在统计学意义上不显著,这表明在本模型中通勤者拥有私家车的数量对于路线1和SP+R的相对效用没有显著的影响。路线2的系数在0.01的水平下显著并且为正,表明拥有私家车的数量超过1辆的通勤者偏向于自驾。

(f)开车频率。路线1和路线2的系数在0.001的水平下显著且都为正,说明驾车频率较为频繁的通勤者更愿意选择自驾出行。

(g)获取信息的频率。路线1的系数不显著,说明在本模型中获取信息的频率并未对路线1和

SP+R的相对效用产生显著影响。路线2的系数显著并且为负,说明获取信息频率高的通勤者更偏向于SP+R。

(h)使用SP+R的经历。以使用过SP+R的人为参考对象,在路线1和路线2的效用函数中,没有使用过SP+R的哑变量系数都为正(2.081 2>1.674 1),说明没使用过SP+R的人选择偏好从大到小依次为路线2、路线3(SP+R)、路线1。路线1中听说过但没使用过的哑变量系数不显著,路线2的系数显著,说明该变量对于路线1与SP+R的相对效用并未产生显著影响,他们更愿意选择路线2。此外,因为2.081 2>0.931 2,说明听说过但没使用SP+R的人相较于没听说过SP+R的人更愿意选择SP+R。

(k)上班路线习惯走地面普通道路。以上班路线习惯走高架快速道路为参考对象,在路线1和路线2的效用函数中系数都为正,说明习惯走地面普通道路的通勤者对于自驾的依赖性更强,不容易改变原本的驾驶习惯。

从上述分析中可以发现,部分影响变量并未对选项的相对效用产生显著影响,所以为了提高模型的拟合度和预测的精度,将模型中显著性大于0.2的影响因素删除,重新建模。最终模型的McFadden LRI值为0.327,在0.2~0.4之间,修正的Estrella为0.552 3,认为模型的拟合效果良好。最终模型的系统效用函数为

$$\begin{aligned} V_1 &= -0.918 4 - 0.132 2X_1 + 0.500 7X_4 + \\ &\quad 1.203 7X_6 + 1.774 1X_8 + 0.807 7X_{10} \\ V_2 &= 0.931 0 - 0.132 2X_1 - 0.204 7X_4 + \\ &\quad 0.735 8X_5 + 1.375 4X_6 - 0.961 1X_7 + \\ &\quad 2.121 5X_8 + 1.040 0X_9 + 0.393 4X_{10} \\ V_3 &= -0.132 2X_1 + 1.430 3X_2 + 0.702 2X_3 \end{aligned}$$

式中, V_1 , V_2 , V_3 分别为路线1、路线2、路线3的系统效用。

根据上述分析和调查结果,提出以下相关政策建议,以便于有关部门进行更科学地交通规划和管理以及SMMI系统设计。

a. 政府通过宣传扩大SP+R使用人数的比例。本研究显示政府有足够的空间提高SP+R市场份额。政府可以利用各种宣传渠道例如电视、互联网和广播等提高人们对低碳/绿色交通的意识,鼓励人们尝试SP+R。此外,政府也可以邀请通勤者免费试用SP+R或给予使用SP+R的通勤者奖励,以使得通勤者在看见SMMI系统提供的出行信息

时，能够选取 SP+R。

b. 地铁运营部门改善了地铁服务水平。从上述分析中可以看出，车厢拥挤程度是影响通勤者选择 SP+R 的关键因素。因此政府采取措施提高地铁车厢的舒适度是非常有价值的。政府为了提高 SP+R 的市场份额，可采取的有效措施是在上下班高峰时期增加地铁的发车班次，从而使通勤者的等待时间变短，车厢也变得更为舒适。

c. 实时交通信息系统的设计。分析表明手机提供的时间、车厢舒适度等实时信息对于通勤者出行有着很大的影响。当通勤者通过手机查看到自驾较为拥堵、车厢舒适度较高时，出行路径由自驾转换成 SP+R 的概率就会变高。因此，政府可以与有关企业合作开发相应的实时信息系统。信息系统的内容应该包括地铁车厢舒适度、各可行路线的行驶时间两方面的内容。

3 结束语

研究了 SMMI 系统提供两条现实中的自驾路线和一条 SP+R 路线的情景下，上海通勤者的路径选择行为。研究表明 SMMI 系统提供的实时交通信息可以显著影响通勤者对于路径的选择行为。此外社会经济属性中驾龄、私家车拥有数量和出行特征属性中开车频率、获取信息的频率、SP+R 的使用经历、以往上班的路线等因素均影响通勤者对于路径的选择。最后建议政府通过宣传，改善地铁服务水平，开发合理的实时交通信息系统，以增加 SP+R 的市场份额。

参考文献：

[1] 云美萍, 刘贤玮, 陈震寰, 等. 通勤出行中停车换乘选择行为分析与建模[J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2012, 40(12): 1825-1830.

[2] HESS D. Effect of free parking on commuter mode choice: evidence from travel diary data[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2001, 1753(1): 35-42.

[3] 田丽君, 杨茜, 黄海军, 等. 基于累积前景理论的出行方式选择模型及实证[J]. 系统工程理论与实践, 2016,

36(7): 1778-1785.

[4] 向红艳, 何素贞, 徐韬. 基于 NL 模型的轨道停车换乘行为建模分析[J]. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2016, 40(3): 413-417, 422.

[5] BEN-ELIA E, DI PACE R, BIFULCO G N, et al. The impact of travel information's accuracy on route-choice[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 26: 146-159.

[6] TSENG Y Y, KNOCKAERT J, VERHOEF E T. A revealed-preference study of behavioural impacts of real-time traffic information[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 30: 196-209.

[7] 隗志才, 鲜于建川. 交通信息作用下的活动-出行决策行为研究[J]. 中国公路学报, 2008, 21(4): 88-93.

[8] NATVIG M K, VENNESLAND A. Flexible organisation of multimodal travel information services[J]. IET Intelligent Transport Systems, 2010, 4(4): 401-412.

[9] MINEA M G, BĂDESCU I G, DUMITRESCU S D. Efficiency of multimodal real-time travel and traffic information services employing mobile communications[C]//Proceedings of the 10th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services. Nis, Serbia: IEEE, 2011: 765-768.

[10] BRAZIL W, CAULFIELD B. Does green make a difference: the potential role of smartphone technology in transport behaviour[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 37: 93-101.

[11] GAN H C. To switch travel mode or not? Impact of Smartphone delivered high-quality multimodal information[J]. IET Intelligent Transport Systems, 2015, 9(4): 382-390.

[12] HAMID N A. Utilization patterns of park and ride facilities among Kuala Lumpur commuters[J]. Transportation, 2009, 36(3): 295-307.

[13] 刘燕, 秦焕美, 潘小松, 等. 北京市停车换乘需求调查与分析[J]. 交通运输工程与信息学报, 2011, 9(3): 118-124.

[14] BEN-AKIVA M, LERMAN S R. Discrete choice analysis: theory and application to travel demand[M]. Cambridge Mass: MIT Press, 1985.

[15] MCFADDEN D. Disaggregate behavioral travel demand's RUM side: a 30-year retrospective[C]//Conference on the International Association of Travel Behavior Research. Brisbane, 2000: 17-64.

(编辑: 丁红艺)