

文章编号: 2095-2163(2021)07-0050-05

中图分类号: U491

文献标志码: A

基于嵌套 Logit 模型的交通出行选择行为研究

高吉, 干宏程, 刘晓芸, 杨明诚

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 嵌套 Logit 模型可以用来描述人们的选择行为, 以上海市通勤出行为例, 就居民通勤方式和出行路径的选择在做该模型的应用研究, 通过建立 Nested Logit 模型的选择树, 确定虚拟层选择方案集合为自驾和 P&R (Park&Ride) 换乘, 底层方案选择层集合为路径 1、路径 2 和路径 3。运用 Stata15.0 软件对各个参数进行标定, 结果显示 P&R 使用频率越高的和使用过 P&R 的人群, 更愿意使用 P&R 的方式出行, 开车频率越高, 学历越高, 收入越高的人群更倾向于选择自驾出行。在自驾出行的线路中, 女性驾驶员更偏向选择地面道路行驶, 驾龄越高的驾驶员更愿意选择高架道路出行。

关键词: 非集计模型; 嵌套 Logit 模型; P&R; 出行方式选择

Research on transportation choice behavior based on Nested Logit model

GAO Ji, GAN Hongcheng, LIU Xiaoyun, YANG Mingcheng

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

[Abstract] The Nested Logit model can be used to describe people's choice behavior. Taking the commuting behavior of Shanghai as an example, the application research of this model is done on the choice of residents' commuting mode and travel route. The choice tree of the Nested Logit model is established to determine that the virtual layer selection scheme set is self-driving and P&R, and the bottom layer scheme selection layer set is path 1, path 2 and path 3. Using Stata15.0 software to calibrate each parameter, the results show that the people who use P&R more frequently and have used P&R, they are more willing to use P&R to travel. The higher the driving frequency is, the higher the education level is, and the higher the income are more inclined to choose travelling by car. In self-driving travel routes, female drivers are more inclined to choose ground roads, and drivers with higher driving experience are more willing to choose elevated travel.

[Key words] disaggregated model; Nested Logit model; P&R; travel mode choice

0 引言

随着私人小汽车的快速增长, 城市中心区域交通拥堵现象日益严重。停车换乘 (park-and-ride, P&R) 是引导人们将小汽车停放在城市的外围区域, 换乘公共交通前往目的地的交通模式^[1]。作为一种新型的交通组合出行方式, 这也是缓解中心城区交通压力的有效措施。许多学者研究了 P&R 的选择行为、需求预测等问题。刘燕等人^[2]发现天通苑北和巴沟处 P&R 设施利用率较高, 换乘者主要为通勤者。李媛等人^[3]针对天通苑北 P&R 停车场规模与需求不匹配的问题, 建立了 Logit 选择模型进行 P&R 需求预测。Zhao 等人^[4]建立了 P&R 出行者的 MNL (Multinomial logit) 选择模型, 发现 P&R 出行者最关心步行时间, 等待时间和寻找停车位时间。Tian 等人^[5]运用累计前景理论和期望效用理论对

P&R 选择行为进行分析, 发现减少 P&R 停车费和提高 CBD (Central Business District) 停车费对促进小汽车出行者转向 P&R 出行有相同的影响。向红艳等人^[6]通过建立结构方程模型, 发现 P&R 出行方式具有较强的时间规律性, 并且路况状态信息、停车信息、事故信息显著影响出行者的 P&R 出行行为。如何充分发挥停车换乘设施的作用, 提高其对出行者的吸引力, 从而缓解中心城区的交通压力即已成为社会广泛关注的问题。

出行者对于交通方式的选择不但与交通方式的服务水平有关, 还与出行者的个人属性以及出行特性有关^[7]。非集计模型可以较好地考虑以上因素, 为交通需求预测提供更为容易描述交通行为的解决方法^[8-11]。基于非集计模型, 建立同时考虑多种方式的交通选择模型中, 有多项 Logit (multinomial logit, MNL) 模型和嵌套 Logit (nested logit, NL) 模

基金项目: 上海市自然科学基金 (15ZR1428100)。

作者简介: 高吉 (1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 交通规划; 干宏程 (1978-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 出行行为、交通规划、智能交通等; 刘晓芸 (1989-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 交通规划。

通讯作者: 高吉 Email: 3383220935@qq.com

收稿日期: 2021-04-19

型等^[12-13]。在多数情况下, MNL 模型较传统的集计模型在预测精度上有了显著提高, 但由于非相关选择方案相互独立性 (independence form irrelevant alternatives, IIA 特性) 等问题, 在实际应用中经常由于选择方案的相关性, 出现模型过大评价类似性较高的选择方案的被选概率, 而过小评价类似性较低的选择方案的被选概率的问题^[14]。因此 MNL 模型更适合于各选择方案相互独立的情况, 而嵌套 Logit 模型则能有效地克服 MNL 模型存在的 IIA 问题, 适合于选择方案具有相关性的情况。

1 研究方法

1.1 基本思路

本研究以上海市居民通勤出行为例, 利用行为数据对居民出行方式选择行为进行研究。在 SP (Stated Preference) 意向调查的情景设置中, 研究的出行方式主要包括: 私家车、停车换乘 (car-subway)。私家车和停车换乘出行方式的条件下分别对应着各自的自驾路线和停车换乘路线。

按照以上思路, 结合 NL 模型原理建立包含出行方式及出行路径选择的组合模型。建立的出行方式选择树示意图如图 1 所示。本文根据非集计模型的效用理论, 利用 stata15.0 软件, 同时对水平 1 和水平 2 的模型进行参数标定, 分析各变量对于居民通勤方式和路径选择的影响。

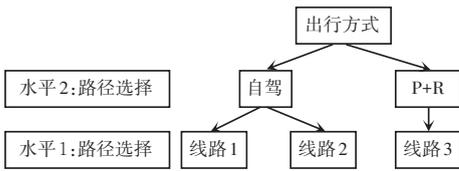


图 1 出行方式及路径联合选择 NL 模型结构

Fig. 1 NL model structure of travel mode and route joint selection

1.2 模型介绍

非集计模型的理论基础是消费者在选择时追求“效用 (utility)”最大化这一假说^[15]。出行者在特定的选择条件下, 选择效用最大的方案。非集计模型的效用函数由固定项和概率项组成:

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

其中, U_{in} 为出行者 n 选择第 i 种方案的效用函数; V_{in} 为出行者 n 选择方案 i 的效用函数中的固定项; ε_{in} 为出行者 n 选择方案 i 的效用函数中的概率项。

若所有的概率项 ε 均服从参数 $\mu = 0, \beta = 1$ 的 Gumbel 分布 (μ 为位置参数、 β 为尺度参数), 且所

有的概率项之间均相互独立时, 由此可以得到出行者 n 选择方案 i 的概率为:

$$P_{ni} = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_{j=1}^J \exp(V_{jn})} \quad (2)$$

其中, P_{ni} 为出行者 n 选择方案 i ($i = 1, 2, \dots, J$) 的概率, J 为可供选择的方案个数。

嵌套 Logit 模型的分层原则是将被认为选择方案的相似性较大作为一个层次, 将不同类型的选择方案作为不同的层次。其基本公式为:

$$P_n(rm) = P_n(r|m)P_n(m), \quad (3)$$

$$(r = 1, 2, \dots, R_{mn}; m = 1, 2, \dots, M_n)$$

其中, $P_n(rm)$ 为出行者 n 选择方式 rm 的概率; $P_n(r|m)$ 为出行者 n 在选择方式 m 的基础上选择方式 r 的概率; $P_n(m)$ 为出行者 n 选择方式 m 的概率; M_n 为出行者 n 在水平 2 上的选择方案个数; R_{mn} 为在节点 m 下选择方案的个数。

根据 NL 的基础理论, $P_n(r|m)$ 和 $P_n(m)$ 可以由下式得出:

$$P_n(r|m) = \frac{e^{\lambda_1 V_{(r|m)n}}}{\sum_{r'=1}^{R_{mn}} e^{\lambda_1 V_{(r'|m)n}}} \quad (4)$$

$$P_n(m) = \frac{e^{\lambda_2 (V_{mn} + V_{mn}^*)}}{\sum_{m'=1}^{M_n} e^{\lambda_2 (V_{m'n} + V_{m'n}^*)}} \quad (5)$$

$$V_{mn}^* = \frac{1}{\lambda_1} \ln \sum_{r=1}^{R_{mn}} \exp(\lambda_1 V_{(r|m)n}) \quad (6)$$

$$U_{rmn} = V_{(r|m)n} + V_{mn} + \varepsilon_{(r|m)n} + \varepsilon_{mn} \quad (7)$$

$$\lambda_1 = \frac{\pi}{\sqrt{6} \sigma_1} \quad (8)$$

$$\lambda_2 = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \left(\sigma_2^2 + \frac{\pi^2}{6\sigma_1^2} \right) \quad (9)$$

其中, U_{rmn} 为出行者 n 选择了方案 (rm) 的效用; $V_{(r|m)n}$ 为出行者 n 选择了方案 (rm) 时, 效用由于 (rm) 和 m 的组合而变化部分的固定项; V_{mn} 为出行者 n 选择了方案 (rm) 时, 效用中与 r 无关, 而仅随 m 变化部分的固定项; $\varepsilon_{(r|m)n}$ 为出行者在选择了 m 的条件下选择了 (rm) 的效用的概率项, 设其服从均值为 0, 方差为 σ_1^2 的 Gumbel 分布; ε_{mn} 为出行者 n 选择了方案 m 的效用的概率项。

2 数据来源与调查数据描述性统计分析

2.1 数据来源

本文所研究的停车换乘是小汽车换乘地铁交

通。使用意向调查(Stated preference survey, SP)方式收集通勤出行者停车换乘选择行为数据,主要包括出行者的个体属性、通勤出行相关属性和 P&R 相关属性等。调查共获得有效问卷 711 份。

2.2 个人社会经济属性分析

驾驶员的个体社会经济属性包括:性别、年龄、驾龄、学历、月收入、开车年平均里程数、是否有公共交通卡、私家车拥有数量等。

在本次受访人群中,男性占比 68.5%,女性占比 31.5%;调查的驾驶员年龄集中在 25~40 岁之间,共占 68.5%。驾龄处于 1~5 年的驾驶员比例最大,其次是 6~10 年,两者相差不大,上海是个人口流动量巨大的城市,社会活动还是以年轻人为主;调查的驾驶员中,89.9%的人具有大学及大学以上的学历,这与上海是全国高素质人才聚集地的实际相符合;个人月收入在 3 500~20 000 元以内的各水平所占比例基本相同,其中以 5 001~8 000 元之间的为最多;开车年平均里程数 15 000 公里内居多,占 73.4%,表明大部分驾驶员私家车都用于通勤出行及日常生活,出行距离较平稳;调查的驾驶员中有 83.5% 的人有公共交通卡,这表明人们对于上海公共交通系统的接受率较高;拥有 1 辆私家车的人数所占比例最高,这与实际生活相符。

2.3 通勤出行特征属性统计分析

驾驶员的通勤出行特征属性包括:上班通常采用的出行方式、上班出行所需行程时间、上班单程出行所需费用、开车频率、驾车上上班通常选择的出行路径、是否使用过 P&R、使用 P&R 的频率等。在受访人群中,上班通常采用的出行方式以私家车为主,所占比例为 71.0%,其次是公共交通占 13.8%。然而,停车换乘、拼车等出行方式使用率极低,这也反映了本文研究的价值所在。在受访者上班出行所需行程时间中,行程时间处于 16~60 min 间的所占比例最大,为 83.5%,也有少数人通勤出行时间长达 1 h 以上。上班单程所需费用为 4~20 元之间最多,这表明上海市出行交通费用较高,适当降低交通费用会影响出行者改变其出行决策。调查对象开车频率整体显示较高,即大多数人更愿意选择方便快捷的小汽车出行,这与上海的交通出行特征相符。受访者中选择高架为主和选择地面道路为主的频数相差不大,这可能是由于上海市在早晚高峰时段,高架道路对外地牌照限行。被调查人群中,没听说 P&R 的只占 12.7%,听说过 P&R、但没使用过的占 32.8%,使用过的占 54.5%,这表明政府对 P&R 的宣传起到了

一定作用,但可以发现 P&R 的利用效率远低于期望值,因此探索如何提高 P&R 的使用率极为重要。在 P&R 使用频率中,每周使用 0 或 1 次的比例高达 72.3%,每周使用 4 或 5 次的却只占 13.8%,这表明 P&R 出行方式在通勤出行方式中所占比重特别小,需要采用更多的改善和引导措施,来诱导出行者改变其自驾的出行方式而选择 P&R。

3 实验及结果分析

3.1 实验

由于嵌套 Logit 模型分成虚拟选择层和方式选择层两层,所以应分别确定各层的影响因素。Type 层,即虚拟选择层,私人交通(自驾)和公共交通(P&R)。第一层 type 层确定个人月收入、教育程度变量为影响因素,认为经济水平即个人月收入和受教育程度是居民选择自驾、还是 P&R 方式出行的最主要影响因素。

在 mode 层,即方式选择层,本文为路径选择,将性别、年龄、驾龄、家庭拥有小汽车数、上班出行所需行程时间、开车频率、是否使用过 P&R、P&R 使用频率确定为影响因素。

在确定嵌套结构和各层变量,完成数据处理转换后,利用 Stata15.0 软件中的 Nested logit regression 模块定义树形结构,即把 3 种出行路径分为自驾和 P&R 两组。然后进行嵌套 Logit 模型的参数估计,第 1 层为虚拟选择层,以 P&R 出行方式为参照项;第 2 层为路径选择层,以路线 3 为参照项。模型估计结果如图 2 所示,根据参数估计结果对模型及参数显著性进行说明。

(1)参数显著性:2 层结构中,变量均在 0.1 的水平下显著,说明本文所选择的变量对方式选择结果有显著的影响,能对模型进行解释。

(2)模型评价:运用了似然比检验。在建立的嵌套 Logit 模型中, $\chi^2(20) = 132.85, Prob > \chi^2 = 0.000 0$,在 0.01 的显著性水平下,拒绝零假设,即模型总体显著。

(3)不相似参数:表格中的 z_{jia_tau} 、 $P\&R_tau$ 为不相似参数,用来判断所建立的模型上下层结构是否合理。P&R 出行方式只有一条路线可供选择,所以不相似参数标准化为 1,自驾出行方式组的不相似参数为 0.732,取值范围在 0~1 之间,说明所建立的嵌套 Logit 模型具有合理的树形结构。

(4)IIA 假定检验:参数估计结果表最后一行为假定的似然比检验,结果表明: $\chi^2(2) = 4.25$ 且 $Prob >$

$\chi^2 = 0.1103$ 。路线 1、路线 2、路线 3 这 3 种出行路线的选择不能强烈拒绝 IIA 假定,但不相似参数 zijia_tau 表明利用嵌套模型进行分析建模具有合理性。

choice	Coef.	Std.Err.	z	P > z
mode				
yongji	-0.929 46	-0.128 27	-7.25	0.000
minute	-0.129 97	-0.015 89	-8.18	0.000
type equations				
zijia				
edu	0.462 31	0.228 16	2.030 0	0.043
income	-0.283 19	0.084 08	-3.370 1	0.001
P&R				
edu		0(base)		
income		0(base)		
mode equations				
Route1				
gender	0.083 77	0.271 20	0.31	0.757
age	0.291 38	0.147 74	1.97	0.049
driver	-0.068 78	0.183 99	-0.37	0.709
ncar	-0.128 98	0.237 88	-0.54	0.588
pr	-0.376 67	0.193 18	-1.95	0.051
prfreq	0.026 427	0.171 99	1.54	0.124
time	-0.462 56	0.127 98	-3.61	0.000
frequency	1.118 13	0.188 16	5.94	0.000
_cons	-2.736 19	1.274 51	-2.15	0.03
Route2				
gender	-0.596 16	0.277 110 0	-2.15	0.031
age	0.314 38	0.147 800 0	2.13	0.033
driver	-0.539 32	0.195 988 4	-2.75	0.006
ncar	0.511 42	0.229 460 0	2.23	0.026
pr	-0.620 45	0.191 250 0	-3.24	0.001
prfreq	-0.322 00	0.192 460 0	-1.67	0.094
time	-0.029 65	0.121 360 0	-0.24	0.807
frequency	0.605 71	0.153 120 0	3.96	0.000
_cons	-0.197 23	1.275 350 0	-0.15	0.877
Route3				
gender		0(base)		
age		0(base)		
driver		0(base)		
ncar		0(base)		
pr		0(base)		
prfreq		0(base)		
time		0(base)		
frequency		0(base)		
_cons		0(base)		
dissimilarity parameters				
type				
/zijia_tau	0.732 405	0.113 794 6		
/P&R_tau	1	52 815.14		
Log-Likelihood: -495.801 53				
Wald $\chi^2(20) = 132.85$				
Prob > $\chi^2 = 0.000 0$				
LR test for IIA ($\text{tau} = 1$): $\chi^2(2) = 4.25$ Prob > $\chi^2 = 0.110 3$				

图 2 嵌套 Logit 模型参数标定结果

Fig. 2 NL model parameter calibration results

3.2 结果分析

表 1 结果显示,地铁车厢越拥挤,通勤出行总行程时间越长,选择该交通方式出行的概率越低。在虚拟选择层,居民的受教育程度对通勤采用自驾出行这种方式具有显著的正向影响,为 0.4623。居民的收入情况对采用自驾出行的方式具有显著的负向影响,为 -0.1299。受教育程度越高,越倾向选择自驾,这与实际生活中受教育高的群收入越高、越愿意选择自驾出行的实际情况相符合。

以路径 3 为参照项时,在路径选择层,年龄对于选择路径 1、路径 2 出行有显著的正向影响,系数为 0.2913、0.1478。驾龄越高,越不倾向于选择地面道路。这可能是因为驾驶员驾驶小汽车年限越久,车技越熟练,高架快速便捷,相对于新手而言,可能更注重安全性,从而倾向选择速度较低的地面道路。女性驾驶员更倾向于选择地面道路进行行驶。是否使用过 P&R,在 0.1 的水平下,对于选择路径 1、路径 2 具有显著的负向影响,系数为 0.051、0.001。说明对于使用过 P&R 的人群,对于再次使用这种出行方式通勤具有一定的吸引力。这可能与 P&R 停车场收费低廉有关。开车频率越高、越倾向于选择自驾的方式出行,可能与人们的出行习惯相关,人们习惯于做自己熟悉的事情。

4 结束语

本文利用 SP 调查法获得的居民出行路线选择的意愿数据,采用离散选择法建立包含居民出行方式和出行路径选择的嵌套 Logit 模型,探索影响居民通勤出行方式选择和出行路线选择的影响因素。研究表明,地铁车厢拥挤程度对于 P&R 出行方式的选择具有显著的负向影响,出行总行程时间对出行路线的选择具有显著的负向影响。受教育程度越高、收入越高的群体,越倾向于选择自驾出行。女性驾驶员更倾向于选择地面道路行驶;年龄越大,越倾向于选择地面道路;驾龄越高,越偏向高架行驶;对于使用过 P&R 出行的人,在此使用这种方式出行更具有吸引力;P&R 使用频率越高,更愿意使用 P&R 出行;开车频率越高,更愿意选择自驾的方式通勤出行;上班出行所需行程时间越长,越不倾向于选择自驾,这与上海高峰时段十分拥堵的实际情况相符合。

参考文献

[1] 关宏志,刘瑞远,曾敏耀. 考虑停车换乘停车位不足的停车换乘行为[J]. 北京工业大学学报,2019,45(6):593-600.