

基于NL模型的大型机场接驳方式选择研究

张兰芳¹, 卞 韬¹, 张 亮²

(1.同济大学交通运输工程学院, 上海 201804; 2.中国民航机场建设集团公司, 北京 100101)

摘要: 基于上海浦东国际机场出发旅客出行调查数据, 研究航空旅客机场接驳方式选择的影响因素。将潜在变量分为接驳方式服务水平(包括时间、费用等)和旅客个体属性(包括旅客类型、出发地等), 通过相关性检验等方法确定关键解释变量。以嵌套Logit(NL)模型为理论基础, 指出机场不同类型旅客接驳方式选择的差异性, 并以商务旅客为例, 利用模型预测各接驳方式比例。模型结果显示: 出行时间和出行费用是影响机场接驳方式选择的最重要因素; 车内时间和车外时间在两类潜在变量中体现出不同的显著性; 携带行李数量(便捷性)和舒适性等也影响接驳方式的选择。最后, 利用北京首都国际机场数据对模型实用性进行评价。

关键词: 接驳方式; 航空旅客; Logit模型; 离散选择; 公共交通; 私人交通

Access Mode Choice at Large Airport based on NL Model

Zhang Lanfang¹, Bian Tao¹, Zhang Liang²

(School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2.China Airport Construction Group Corporation, Beijing 100101, China)

Abstract: Based on the survey data of passengers departing from Shanghai Pudong International Airport, this paper studies the factors influencing air passengers' access mode choice. By dividing the potential variables into the level of service of access mode (including time, cost, etc.) and attributes of individual passengers (including passenger type, departure place, and etc.), the paper selected the key explanatory variables based on coefficient of correlation analysis and other methods. Based on Nested Logit model, this paper investigates the differences between various types of passengers in choosing access mode at airports. For example, for business passengers, the model is used to forecast the access mode share. The results show that travel time and cost are the most important influential factors in deciding access mode at airport, variables of in-vehicle travel time and off-vehicle waiting time are significantly different, the number of permitted carry-on bags and comfortableness also affect access mode choice. Finally, the paper assesses the applicability of the model using the data from Beijing Capital International Airport.

Keywords: access mode; air passenger; logit model; discrete choice; public transit; private transportation

收稿日期: 2015-11-23

基金项目: 民航重大科技项目“北京新机场智能型综合交通枢纽建设关键技术研究与应用”(MHRD20130107)

作者简介: 张兰芳(1972—), 女, 安徽临泉人, 博士, 副教授, 主要研究方向: 道路规划与几何设计、道路交通安全、机场规划与设计。E-mail: zlf2276@163.com

1 相关研究概述

机场是连接航空系统与地面交通系统的基础性设施, 机场接驳方式选择预测是机场规划建设、运营以及机场交通系统管理的基础性工作。机场接驳方式选择研究中非集计模型的应用已有40年的历史, 多项式Logit模型(MNL)和嵌套Logit(NL)模型已经被广泛

应用。文献[1]早在1974年运用MNL模型对美国华盛顿机场进行研究, 选取私人小汽车、租赁车、出租汽车、大型巴士四种接驳方式, 将出行目的、接驳时间和接驳费用作为模型参数。接下来的10年内又有诸多研究者针对MNL模型进行研究, 如文献[2]针对美国巴尔的摩市和马里兰州地区的3个机场建立MNL模型, 将接驳时间作为模型参

数,指出航班频率、机场可达性决定了旅客对于机场的选择。文献[3]考虑等候时间、步行时间、行李数量、性别、出行目的、家庭收入等因素,得出与便捷性相关的变量(如步行时间、行李数量)显著影响旅客接驳方式选择。文献[4]考虑等候时间、航空旅行团体大小、家庭收入等因素开展相关研究。文献[5]将旅客分为商业旅客和非商业旅客两类,并得出接驳时间和接驳费用是最重要的影响因素。

1988年,文献[6]针对MNL模型的局限性,开始对NL模型进行研究。同年,文献[7]首次将NL模型应用于旧金山湾区机场接驳方式选择预测中。除此之外,双层NL模型被用于估算机场和接驳方式选择的联合概率。文献[8]利用双层NL模型将机场选择与接驳方式选择结合,针对旧金山湾区机场商务和非商务旅客进行研究。文献[9]选取旧金山、圣何塞、奥克兰三大机场作为上层选择肢,下层为接驳方式,得到商务旅客更加重视接驳方式时间节省效应。上述两项研究共同表明,机场接驳方式选择中接驳时间相比接驳费用更加敏感。文献[10]建立了双层NL模型,然而对于机场的接驳方式只有一层嵌套,模型等同于MNL模型。文献[11]基于文献[8-9]建立的NL模型对纽约和新泽西地区的机场接驳方式进行研究,涵盖了9个机场和28条国际航班,涉及19 127名旅客数据。模型参数除了选取接驳时间、接驳费用、停车费用,还考虑了旅客是否为当地居民、性别、年龄、家庭收入、旅行团体大小等因素。结果显示,NL模型比MNL模型显示出更好的适应性,且商务旅客和非商务旅客在行为方面存在较大的差异性。

近年来,诸多学者在MNL和NL模型的基础上开展进一步探索。文献[12]针对旧金山湾区机场的数据,建立PCMNL模型,模型中仅考虑接驳时间这一参数,研究结果表明PCMNL模型优于MNL模型。文献[13]针对香港国际机场数据进行分析,建立了结构方程模型(SEM)。除了接驳成本,还将飞行时长、同行人数、旅客性别、年龄、教育程度作为个体属性考虑其中。文献[14]突破性地将旅客对于服务质量的感官认识加入机场接驳方式选择模型中,将与旅客感官认识相关的潜在变量加入MNL模型中,建立了MIMIC模型。

已有研究基本致力于旅客选择行为的影响因素分析,认为接驳时间和接驳费用是最关键的两个因素,对于如何选择旅客的收入、年龄、性别、职业、出行目的等作为模

型参数尚没有成熟的理论。而中国已有的预测模型建立多依赖于发达国家机场建设的经验,城市综合交通枢纽规划设计的相关标准规范还不完善,以大型机场为主体的综合交通枢纽系统的交通需求预测更是处于起步状态^[15-16]。本文在前述研究的基础上,分析航空旅客接驳方式选择的影响因素,以公共交通和私人小汽车交通(以下简称“私人交通”)为分层原则建立模型,预测各接驳方式的分担比例。

2 研究理论基础

本文以NL模型为理论基础开展研究。出行者 n 对选择 i 的效用 $U_{i,n}$ 决定于选择肢的特性和出行者的个体属性,可表示为

$$U_{i,n} = U_{i,n}(SE_n, A_{i,n}), \quad (1)$$

式中: $U_{i,n}$ 为出行者 $n(n=1, 2, 3, \dots, Q)$ 选择第 $i(i=1, 2, \dots, N)$ 种方式时的效用函数; SE_n 为出行者 n 的个体属性向量; $A_{i,n}$ 为出行者 n 对应选择肢 i 的特征向量。

一般情况下,出行者 n 选择第 i 种方式时效用函数的确定项可表示为个人特性和选择肢特性的线性函数

$$V_{i,n} = \beta X_{i,n} = \sum_{k=1}^K \beta_k x_{ink} (i=1, 2, \dots, N), \quad (2)$$

式中: $V_{i,n}$ 为出行者 n 选择第 i 种方式时效用函数的确定项; $\beta(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ 为待标定的参数向量; $X_{i,n} = [x_{in1}, x_{in2}, \dots, x_{ink}]^T$ 是特征向量,也称为效用函数确定项的影响因素(通常包括时间、费用、收入等相关因素)^[17-18]。

在此基础上,推导出两层NL模型中,选择上层虚拟选择肢 $r(r=1, 2, \dots, R)$ 、下层选择肢 $t(t=1, 2, \dots, T)$ 的概率为

$$P_{t/r,n} = \frac{\exp(\lambda_1 V_{t/r,n})}{\sum_{t=1}^T \exp(\lambda_1 V_{t/r,n})} \cdot \frac{\exp(\lambda_2 V_{r,n})}{\sum_{r=1}^R \exp(\lambda_2 V_{r,n})}, \quad (3)$$

式中: λ_1 为与下层有关的效用概率项方差对应的参数; λ_2 为同时考虑上、下层效用概率项方差对应的参数。为保证模型满足效用最大化理论, λ_1, λ_2 应满足 $1 \geq \frac{\lambda_1}{\lambda_2} > 0$ ($\lambda_1 = \lambda_2$ 时,模型即为MNL模型)。

此外,处于上层的模型通过条件概率约束下层模型,而下层模型的总效用 Logsum 成为上层模型的一个变量,由选择肢 $t(t=1, 2, \dots, T)$ 组成的下层模型的总效用

$$\text{Logsum}(r) = \ln \left[\sum_{t=1}^T \exp(\lambda_1 V_{t/r,n}) \right], \quad (4)$$

上层虚拟选择肢 r 的效用可表示为

$$V_{r,n} = \beta'X_{i,n} + \beta'_{Logsum} \text{Logsum}(r). \quad (5)$$

将所有接驳方式按双层 NL 模型进行分类, 第一层包含两个虚拟选择肢: 公共交通和私人交通, 第二层分别嵌套具体的接驳方式。通过建立各选择肢及虚拟选择肢的效用函数, 进一步推算各选择肢的选择概率, 实

现各种接驳方式选择的预测。通过航空旅客调查, 研究航空旅客接驳方式选择行为, 以确定 Logistic 回归方程中的关键解释变量; 同时在对航空旅客进行分类的基础上, 构建针对不同类型旅客的机场接驳方式选择预测模型。

3 机场旅客调查

机场接驳方式的划分取决于航空旅客的分类以及离散选择模型, 两者都通过旅客调查的方法实现^[19]。航空旅客的分类使得不同人群在接驳方式选择上呈现某些共性, 这些共性又决定了旅客对于机场接驳方式的选择, 通过评价其偏好及需求可预测未来的选择^[20]。本文选取上海浦东国际机场为研究对象, 于2015年11月对航空出发旅客开展调查, 调查内容涉及旅客个体属性(性别、年龄等)以及出行信息(出发地点、出行目的等)。

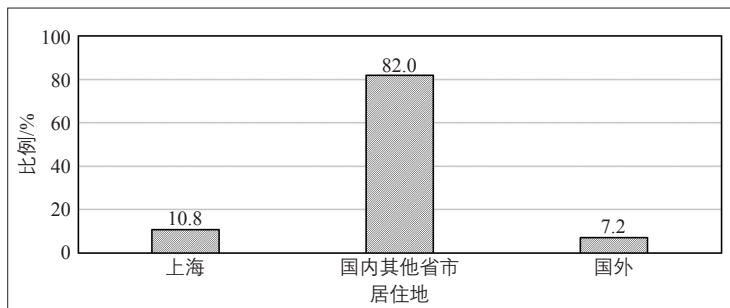


图1 旅客居住地分布

Fig.1 Distribution of passenger residence

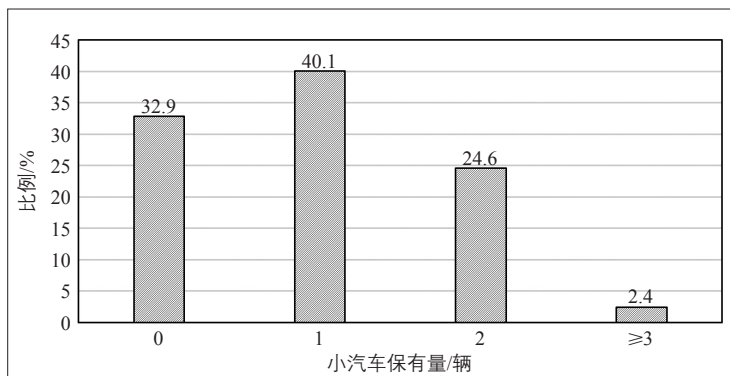


图2 旅客家庭小汽车保有量分布

Fig.2 Distribution of passengers' vehicle ownership

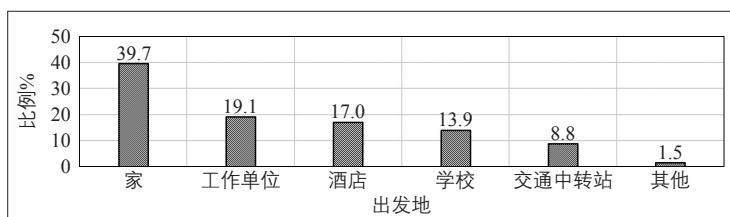


图3 市内出行旅客出发地分布

Fig.3 Distribution of departure locations of intercity travel passengers

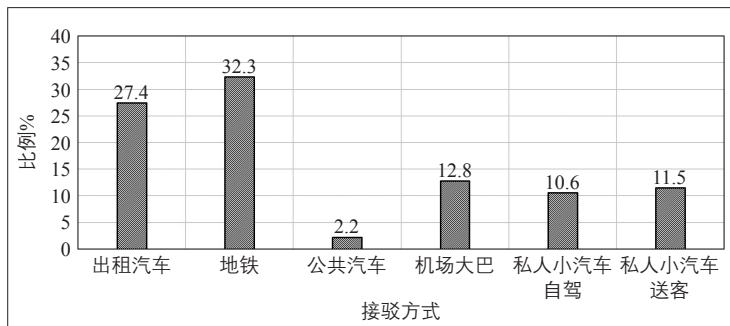


图4 旅客接驳方式分布

Fig.4 Distribution of passenger access mode

3.1 旅客个体属性

调查的270个有效样本中, 男性旅客占49.7%, 女性占50.3%; 旅客年龄集中在20~30岁, 比例为45.5%; 旅客职业中企业员工比例最高, 达到38.9%, 其余职业分布较为平均; 旅客的收入未呈现明显的差别; 旅客居住地、家庭小汽车保有量情况见图1和图2。可以看出, 浦东国际机场的出发旅客多为国内其他省市居民, 比例达到82%, 旅客家庭中至少拥有1辆私人小汽车的比例超过65%。

3.2 出行特征

1) 出行目的。

以公务和旅游出行为目的的旅客比例较高, 分别为33.0%和44.4%, 其次是探亲访友, 为11.4%。

2) 出发地分布。

旅客市内出行和市外出行(指从外省市直接到机场)的比例分别为65.3%和34.7%。其中, 市内出行的出发地分布情况如图3所示, 可以看出, 约40%的旅客从家出发, 从工作单位、酒店、学校、交通中转站前往机场的旅客分布相对均匀, 均为10%左右。

3) 接驳方式。

旅客接驳方式分布如图4所示, 公共交通分为地铁、出租汽车、公共汽车、机场大巴、专车; 私人交通分为: 私人小汽车送客、私人小汽车自驾。可以看出, 出租汽车和地铁比例最高, 达到27.4%(专车比例达8.8%)和32.3%, 其次是私人小汽车和机场大巴

巴，分别达到 22.1%及 12.8%，公共汽车分担比例最小，约占 2.2%。

4 影响因素分析

将对旅客模式选择行为产生影响的潜在因素分为两类：接驳方式的服务水平、旅客个体属性。

4.1 接驳方式的服务水平

1) 出行时间。

航空旅客对于出行时间的敏感性较高，以出租汽车为例，通过 Spearman 相关性分析，得出车内时间与选择出租汽车的相关系数为 -0.249，在 0.01 的置信水平上显著相关(见表 1)。

2) 出行费用。

如表 2 所示，以出租汽车为例，通过 E^2 相关性检验，以接驳方式为因变量，得出与出行费用的相关系数为 0.783，相关性较高。与其他公共交通工具相比，出租汽车价格较高，因此相关性体现较为明显。此外，商务旅客的相关性系数较非商务旅客低，这是由于商务旅客大多不需要自己支付交通费用，因此对出行费用的敏感性较低。

3) 停车费用。

停车费用往往对私人小汽车自驾有较大影响，由表 3 可知，停车费用与私人小汽车自驾的 E^2 相关性系数为 0.577，表明两者间相关性较高。

4) 舒适性。

随着生活水平的提高，航空旅客更加注重出行质量，如舒适性、便捷性等，调查中以旅客的满意度评分为指标(-2, -1, 0, 1, 2)，表征舒适性。由表 4 可知，舒适性与私人小汽车的 Pearson 相关系数为 0.199，在 0.01 的置信水平上显著相关，表明舒适性对选择私人小汽车的影响较大。

5) 便捷性。

本文用携带行李数量表征便捷性，其与接驳方式的交叉分析如图 5 所示。随着携带行李数量的逐渐增多，便捷程度较高的私人交通方式比例逐渐提高成为主要选择，而公共交通也体现出便捷性差的劣势，因此可以引入携带行李数量作为参数，表征便捷性。

4.2 旅客个体属性

1) 旅客类型。

航空旅客按出行目的可分为商务旅客和非商务旅客两类。对旅客类型与接驳方式进

行交叉(见图 6)，可以看出，商务旅客选择出租汽车、地铁的比例较高，其中出租汽车为 36.4%，地铁为 33.3%，其次为私人小汽车占 18.2%(包含送客与自驾)；非商务旅客的接驳方式选择分布更加均匀，选择地铁、出租汽车、私人小汽车、机场大巴的比例分别为 29.4%，22.6%，24.5%(包含送客与自

表 1 乘车时间与出租汽车选择相关性分析

Tab.1 Correlation analysis between travel time and taxi choice

	出租汽车	时间	接驳方式
时间	Pearson 相关性	1	-0.249
	显著性(双侧)		0.001

表 2 出行费用与出租汽车选择相关性分析

Tab.2 Correlation analysis between travel cost and taxi choice

以接驳方式为因变量		值
η	出行费用	0.783

表 3 停车费用与私人小汽车自驾相关性分析

Tab.3 Correlation analysis between parking costs and private car choice

以接驳方式为因变量		值
η	停车费用	0.577

表 4 舒适性与私人小汽车选择相关性分析

Tab.4 Correlation analysis between comfort and private car choice

	私人小汽车	舒适性	接驳方式
舒适性	Pearson 相关性	1	0.199
	显著性(双侧)		0.003

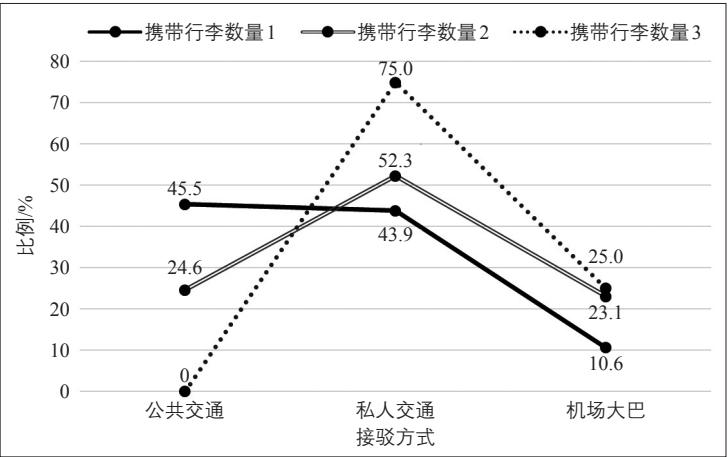


图 5 行李数量与接驳方式选择交叉分析

Fig.5 Cross analysis between baggage number and access mode choice

驾)和17.7%。

此外,接驳方式与旅客类型的交叉分析显示,地铁有73.2%的旅客为非商务旅客,公共汽车100%为非商务旅客,机场大巴有81.8%为非商务旅客,可见,非商务旅客更倾向于选择公共交通到达机场。分析其原因,商务旅客收入较高且往往不需要承担交通费用,对于时间的敏感性较高,其接驳方式的选择往往受制于接驳时间^[11];而非商务旅客中包含了大部分以旅游为目的的出行者,出行方式更加随性,对于接驳费用的敏感性较商务旅客高得多,选择接驳方式时往往更加注重经济性。

2) 出发地。

由出发地与接驳方式交叉分析(见图7)可知,从家出发的旅客选择出租汽车、地

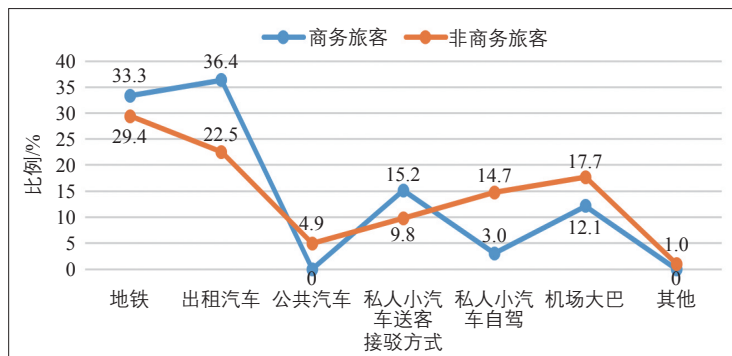


图6 旅客类型与接驳方式选择交叉分析

Fig.6 Cross analysis between passenger type and access mode choice

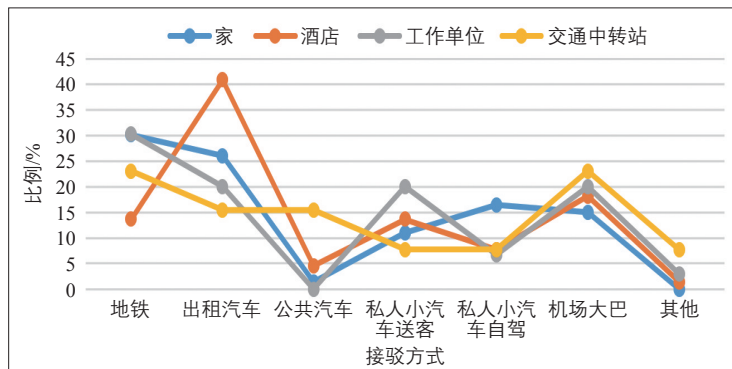


图7 出发地与接驳方式选择交叉分析

Fig.7 Cross analysis between departure place and access mode choice

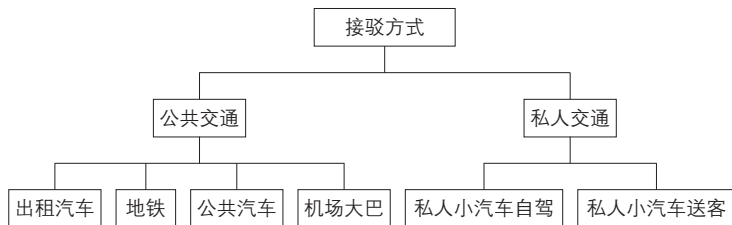


图8 NL模型选择肢

Fig.8 NL model alternatives

铁、私人小汽车的比例较高,由于调查样本中包含部分学生,因此地铁比例偏高(30.1%),其次是机场大巴,公共汽车仅占1.4%;从酒店出发的旅客选择出租汽车的比率最高(40.9%),其次是私人小汽车;从工作单位出发的旅客接驳方式选择分布相对均匀,各种方式所占比例均为20%左右。可以看出,从家出发的旅客倾向于选择携带行李较为方便的私人小汽车和出租汽车。

5 模型构建

5.1 参数选择

如图8所示,所有接驳方式按双层NL模型进行分类,将公共交通和私人交通分开建立模型,作为第一层选择肢,而选择公共交通的概率和私人交通的概率与第二层选择肢有关,但并不等于第二层各种接驳方式概率之和,处于上层的模型通过条件概率约束下层模型,而下层模型的总效用作为上层模型的一个变量^[13]。

根据旅客调查的数据及结果,选取以下变量利用SPSS软件进行Logistic回归分析(见表5): $B_{出租}$, $B_{地铁}$, $B_{巴士}$, $B_{自驾}$, $B_{送客}$ 为各种接驳方式效用函数中的常数项, $T_{车内}$ 为乘车时间/min, $T_{车外}$ 为全程步行所用时间/min, C 为出行费用(不包括停车费用)/元, $C_{停}$ 为所选接驳方式停车费用/元, L 为旅客所带行李数量/件, Co 为舒适性。依据回归分析结果最终可确定各种接驳方式效用函数中的关键变量。

1) 出租汽车。

出租汽车出行费用最高,且与其他接驳方式间差异显著。出租汽车乘车时间相对较短,这主要是因为出行时间超过1h的费用较高,旅客选择出租汽车的概率随之下降;车外时间往往不影响对出租汽车的选择,且近年来随着打车软件的兴起,大大缩短了选择出租汽车的等待时间和步行时间。便捷性对第一层选择肢概率有较大影响,但公共交通工具内部各选择肢之间差异并不明显,私人交通也是如此,因此便捷性并不作为出租汽车效用函数中的变量。

2) 地铁。

地铁在准时性和经济性方面优势较为明显,因此在公共交通工具中,地铁所占比例最高。调查结果显示,地铁乘车时间最长,费用仅次于公共汽车。同时,通过对各个因

素与地铁方式选择的相关性分析发现，除车内时间和费用以外，其他因素对其影响并不显著。因此，将车内时间和费用作为其效用函数的变量。

3) 机场巴士。

公共交通方式中，机场巴士出行费用较高、出行时间较短，这一点与出租汽车类似。车外时间往往也影响对机场巴士的选择，机场巴士相邻班次之间时间间隔较长，且随着乘车时间的增加，价格增加的幅度也较大，因此将车内时间、车外时间以及费用作为其效用函数的变量。

4) 私人小汽车自驾。

私人小汽车自驾在舒适性和便捷性上优势较为明显，通过对各个因素与私人小汽车自驾的相关性分析发现，便捷性对其影响并不显著(显著性水平均大于0.5)，而舒适性对其选择影响显著，因此将舒适性作为其解释变量之一。随着与机场的距离增大，出租汽车费用较高，私人小汽车往往成为首选，因而车内时间不作为变量。在费用方面，私人小汽车并不占优势，其中还包含了机场停车费用，因此将出行费用、停车费用作为其效用函数的变量。

5) 私人小汽车送客。

与私人小汽车自驾类似，将舒适性作为

其解释变量之一。在费用方面私人小汽车并不占优势，但调查发现，选择送客方式的旅客，于自身而言往往并不考虑出行费用及停车费用，因此出行费用、停车费用不作为变量，这是与自驾方式的区别之处。此外，从家出发的旅客倾向于选择携带行李较为方便的私人小汽车和出租汽车，携带行李较多的旅客选择私人小汽车送客方式的可能性较高，因此将便捷性作为解释变量之一。

5.2 效用函数方程建立

由于商务旅客和非商务旅客在接驳方式选择上存在较大差异，因此将这两类旅客分开进行建模，下面以商务旅客为例建立预测模型。根据参数选择结果，建立各接驳方式的线性效用函数，该效用函数联系起商务旅客接驳方式选择及其影响因素。

$$U_{出租}=B_{1,1}+b_{1,6}T_{车内,出租}+b_{1,8}C_{出租}, \quad (6)$$

$$U_{地铁}=B_{2,2}+b_{2,6}T_{车内,地铁}+b_{2,8}C_{地铁}, \quad (7)$$

$$U_{巴士}=B_{3,3}+b_{3,6}T_{车内,巴士}+b_{3,7}T_{车外,巴士}+b_{3,8}C_{巴士}, \quad (8)$$

$$U_{自驾}=B_{4,4}+b_{4,7}T_{车外,自驾}+b_{4,8}C_{自驾}+b_{4,9}C_{停,自驾}+b_{4,11}Co_{自驾}, \quad (9)$$

$$U_{送客}=B_{5,5}+b_{5,7}T_{车外,送客}+b_{5,10}L_{送客}+b_{5,11}Co_{送客}. \quad (10)$$

表5 模型参数回归分析
Tab.5 Regression analysis of model parameters

项目	公共交通			私人交通	
	出租汽车(1)	地铁(2)	机场巴士(3)	自驾(4)	送客(5)
$B_{出租}$	(1) 1.924	0	0	0	0
$B_{地铁}$	(2) 0	2.394	0	0	0
$B_{巴士}$	(3) 0	0	7.765	0	0
$B_{自驾}$	(4) 0	0	0	0.093	0
$B_{送客}$	(5) 0	0	0	0	0.319
$T_{车内}$	(6) -0.028(0.00)	0.053(0.01)	-0.026(0.00)	0	0
$T_{车外}$	(7) 0	0	-0.066(0.02)	-0.261(0.00)	-0.590(0.00)
C	(8) 0.045(0.00)	-0.029(0.00)	-0.093(0.01)	-0.139(0.00)	0
$C_{停}$	(9) 0	0	0	-0.580(0.01)	0
L	(10) 0	0	0	0	0.004(0.01)
Co	(11) 0	0	0	0.406(0.00)	0.216(0.02)
χ^2	(12) 13.554	15.794	11.812	24.153	20.173
Cox & Snell R^2	(13) 0.337	0.380	0.301	0.165	0.116
Nagelkerke R^2	(14) 0.461	0.528	0.576	0.318	0.201

注：-0.028(0.00)括号中数据为参数估计显著性分析结果，其他同理。

$b_{i,j}$ 为对应变量的系数, i, j 为表 5 中对应位置列与行的编号。

以上为 NL 第二层选择肢的效用函数。分别对公共交通和私人交通的各潜在影响因素进行相关性分析, 得到二者效用函数的参数, 据此建立第一层虚拟选择肢的效用函数

$$U_{\text{公共}} = \beta_1 L + \beta_2 Co + \beta_3 C + \beta_4 C_{\text{停}} + \beta_{\text{Logsum}} \text{Logsum}_{\text{公共}}, \quad (11)$$

$$U_{\text{私人}} = \beta_1 L + \beta_2 Co + \beta_4 C_{\text{停}} + \beta_{\text{Logsum}} \text{Logsum}_{\text{私人}}, \quad (12)$$

式中: $\text{Logsum}_{\text{公共}}$ 和 $\text{Logsum}_{\text{私人}}$ 分别为下层模型公共交通和私人交通的总效用。

最后, 根据选择肢概率与效用函数的关系式(公式(9)和(10)), 求得接驳方式比例

$$P_i = \frac{\exp(U_i)}{\sum_{i=1}^5 \exp(U_i)} \times \frac{\exp(U_{\text{公共}})}{\exp(U_{\text{公共}}) + \exp(U_{\text{私人}})}, \quad (13)$$

式中: P_i 为接驳方式 i 的分担比例/%; U_i 为接驳方式 i 的效用函数; $U_{\text{公共}}$ 与 $U_{\text{私人}}$ 分别为公共交通和私人交通的效用函数。

表 6 调查样本接驳方式构成

Tab.6 Access mode share of survey sample %

接驳方式	机场大巴	出租汽车	轨道交通	私人小汽车	其他
比例	8	40	6	37	9

表 7 各接驳方式比例预测结果

Tab.7 Results of access mode share forecasting

均值	U_i	$\exp(U_i)$	$P_i/\%$	$\frac{U_{\text{公共}}}{U_{\text{私人}}}$	$\frac{\exp(U_{\text{公共}})}{\exp(U_{\text{私人}})}$	$\frac{P_{\text{公共}}/\%}{P_{\text{私人}}/\%}$
出租汽车	-0.800	5.836	37.08			
机场大巴	-6.725	0.497	10.32	1.662	9.355	57.33
轨道交通	-3.707	0.182	9.93			
私人小汽车 自驾	-0.483	0.928	15.66			
私人小汽车 送客	-0.500	6.919	27.01	1.574	12.402	42.67

表 8 模型预测精度检验

Tab.8 Model forecasting accuracy test %

接驳方式	分担比例		偏差
	预测	实际	
出租汽车	37.08	40	-2.92
机场巴士	10.32	8	2.32
轨道交通	9.93	6	3.93
私人小汽车	42.67	37	5.67

在模型系数的综合检验中, 方程整体的 P 值均远小于 0.05, 且各模型的系数对应的 Sig. 值也均远小于 0.05(见表 5), 说明各变量对因变量的影响显著。根据模型拟合的结果可知, 各接驳方式对应的模型 Cox & Snell R^2 与 Nagelkerke R^2 基本在 0.3 以上, 由于影响航空旅客选择接驳方式的因素众多, 且涉及社会经济诸多方面, 因此模型拟合优度的确定系数是可以接受的, 说明模型的拟合效果较好。

6 模型实用性评价

利用北京首都国际机场的旅客调查结果对模型进行评价。接驳方式构成如表 6 所示, 机场到达旅客选择出租汽车的比例最高(40%), 其次为私人小汽车(37%), 机场大巴、轨道交通比例相对较低, 均不足 10%。

分别将北京首都国际机场旅客调查中商务旅客和非商务旅客的数据代入已构建模型, 得到各接驳方式比例预测结果(见表 7)。将模型预测结果与实际情况进行对比(见表 8), 可以看出, 除了私人小汽车的偏差稍大(>5%), 其他接驳方式预测值与实际值间偏差均不超过 5%, 说明模型预测精度可以接受。

7 结语

出行时间和出行费用是影响机场接驳方式选择的最重要因素。本文将出行时间分为车内时间和车外时间, 在公共交通和私人交通中, 两种时间体现出了不同的显著性, 这也表明私人交通节省了大量的等待时间和步行时间, 为旅客带来了较大的便利性。除此之外, 携带行李数量(便捷性)和舒适性等也影响了接驳方式的选择。

商务旅客与非商务旅客接驳方式选择差异较大, 商务旅客收入较高且往往不需要承担交通费用, 对于时间的敏感性较高; 非商务旅客中包含了大部分旅游出行的旅客, 出行方式更加随性, 对于费用的敏感性较高, 往往更加注重经济性和舒适性。

由于被调查旅客以国内旅客为主, 因此模型的建立并未考虑国际旅客与国内旅客的差异; 同时, 未考虑组合出行方式, 在预测模型中仅以主要交通方式代替, 这将在后续研究中深入探讨。

参考文献:

References:

- [1] Ellis R H, Bennett J C, Rassam P R. Approaches for Improving Airport Access[J]. Journal of Transportation Engineering, 1974, 100(TE3): 661-673.
- [2] Skinner R E. Airport Choice: An Empirical Study[J]. Journal of Transportation Engineering, 1976, 102(TE4).
- [3] Sangho Choo, Soyoung (Iris) You, Hyangsook Lee. Exploring Characteristics of Airport Access Mode Choice: A Case Study of Korea[J]. Transportation Planning and Technology, 2013, 36(4): 335-351.
- [4] Gosling G D. An Airport Ground Access Mode Choice Model[R]. UCB-ITS-TD-84-6. Berkeley, CA: Institute of Transportation Studies, University of California, 1984.
- [5] Harvey G. Study of Airport Access Mode Choice[J]. Journal of Transportation Engineering, 1986, 112(5): 525-545.
- [6] Ben-Akiva M, Lerman S R. Discrete Choice Analysis: Theory and Applications to Travel Demand[M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 1985.
- [7] Harvey G. ACCESS: Models of Airport Access and Airport Choice for the San Francisco Bay Region-Version 1.2[R]. Berkeley, CA: Metropolitan Transportation Commission, 1988.
- [8] Pels E, Nijkamp P, Rietveld P. Access to Airports: A Case Study for the San Francisco Bay Area[C]//38th Congress of the European Regional Science Association, Vienna, Austria, 1998: Europe Quo Vadis? - Regional Questions at the Turn of the Century.
- [9] Pels E, Nijkamp P, Rietveld P. Access to and Competition Between Airports: A Case Study for the San Francisco Bay Area[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2003, 37(1): 71-83.
- [10] Bondzio L. Study of Airport Choice and Airport Access Mode Choice in Southern Germany[C]//Proceedings of Seminar K, PTRC European Transport Forum, Brunel University, England, 1996: Airport Planning Issues.
- [11] Gupta S, Vovsha P, Donnelly R. Air Passenger Preferences for Choice of Airport and Ground Access Mode in the New York City Metropolitan Region[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2008(2042): 3-11.
- [12] Başar G, Bhat C. A Parameterized Consideration Set Model for Airport Choice: An Application to the San Francisco Bay Area[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2004, 38(10): 889-904.
- [13] Tam M L, Tam M L, Lam W H K. Analysis of Airport Access Mode Choice: A Case Study in Hong Kong[J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2005, 6: 708-723.
- [14] Tam M L, Lam W H K, Lo H P. Incorporating Passenger Perceived Service Quality in Airport Ground Access Mode Choice Model[J]. Transportmetrica, 2010, 6(1): 3-17.
- [15] 李德芬. 空港综合交通枢纽客流需求预测研究: 以广州白云国际机场为例[J]. 城市轨道交通, 2014, 12(3): 59-65.
- Li Defen. Passenger Travel Demand Forecasting for a Hub Airport: A Case Study in Guangzhou Baiyun International Airport[J]. Urban Transport of China, 2014, 12(3): 59-65.
- [16] Psaraki V, Abacoumkin C. Access Mode Choice for Relocated Airports: The New Athens International Airport[J]. Journal of Air Transport Management, 2002, 8(2): 89-98.
- [17] 刘建明, 黄中祥. 基于行为的出行方式选择模型探讨[J]. 山东交通学院学报, 2009, 17(1): 18-22.
- Liu Jianming, Huang Zhongxiang. Discussion of a Travel Mode Choice Model based on Activity Approach[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2009, 17(1): 18-22.
- [18] 皇甫佳群, 周康, 孙明洁. 基于NL模型的交通方式划分[J]. 山东交通学院学报, 2011, 19(3): 39-43.
- Huangfu Jiaqun, Zhou Kang, Sun Mingjie. Transportation Division Based on NL Model[J]. 2011, 19(3): 39-43.
- [19] 颜金石. Logit模型的推导过程[J]. 交通标准化, 2012(4): 103-105.
- Yan Jinshi. The Derivation Process of the Logit Model[J]. Transport Standardization, 2012(4): 103-105.
- [20] Psaraki V, Abacoumkin C. Access Mode Choice for Relocated Airports: The New Athens International Airport[J]. Journal of Air Transport Management, 2002, 8(2): 89-98.