

综合客运枢纽旅客换乘交通方式分担模型

魏 华,马荣国,赵跃峰,邓亚娟

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘 要:为了解客运换乘枢纽旅客交通方式选择分担率,对换乘枢纽旅客交通方式选择影响因素进行分析,认为交通方式选择是道路交通网络基础特性、公共交通配套设施布局特性等客观因素以及旅客出行特性、旅客偏好等主观因素相互作用直至均衡的过程。依据效用最大化理论,在交通方式选择行为模型的基础上,引入感知和态度2个心理变量,构建了随机效用函数模型,并对模型求解。选取某换乘枢纽站的3种交通方式为调查对象,抽样调查了各交通方式的属性值,量化分析了各因素对交通方式选择作用的大小,对各交通方式的分担率进行了计算。研究结果表明:效用最大化能很好地反映旅客在选择交通方式时的决策过程,从旅客的个体出发,综合考虑旅客个体行为能较为客观地计算出不同交通方式的分担量,模型具有较好的实用性。

关键词:交通工程;客运换乘枢纽;交通方式选择;交通行为;最大效用

中图分类号:U411

文献标志码:A

Split model in urban comprehensive passenger hub

WEI Hua, MA Rong-guo, ZHAO Yue-feng, DENG Ya-juan

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: To understand the split model characteristics of urban comprehensive passenger hub, this paper analyzed the influence factors of the passenger traffic way choice at urban comprehensive passenger hub. It was found that the passenger traffic way choice was a progress during which, before reaching a balance, interactions continued between external factors of characteristics of road networks and routes, and internal factors of travelers. According to the maximum utility theory and based on the passenger traffic way choice, this paper set up multinomial logit model, which takes perception and attitude as two indexes. Based on the data surveyed at one comprehensive passenger hub, this paper quantitatively analyzed the impacts of influence factors on passenger traffic way choice and the split rate of each traffic way was calculated. The results show that the maximum utility can reflect the decision making in passenger traffic way choice. With passenger's individual behavior considered, the split rate of each traffic way can be calculated. The model is of practical significance. 4 tabs, 2 figs, 9 refs.

Key words: traffic engineering; urban comprehensive passenger hub; traffic way choice; traffic behavior; maximum utility

0 引言

随着城市的发展,城市规模不断扩大,交通系统作为城市发展不可或缺的一个重要组成部分,也日益完善起来,多种交通方式之间的衔接与换乘研究亦成为交通领域的重要课题。换乘枢纽是大城市交通系统中的重要节点,在城市客运交通系统中占据举足轻重的地位。城市客运换乘枢纽的外部是各种交通方式集散的地方,其规划设计的合理与否,直接影响着各种交通工具功能的发挥,也充分体现其与城市客运交通系统的协调性。因此,针对不同交通方式的客流分担率的研究就非常重要。通过交通方式分担的研究,可以掌握各种交通方式的分担比例,确定不同交通方式的出行规模或需求^[1]。目前针对换乘枢纽外部的交通方式分担研究还比较分散,多集中于大型客运枢纽疏散模型及宏观布局方面的研究。文献[2]通过分析大型客运枢纽的特性,建立客流的疏散模型;文献[3]分析了轨道线路与车站的关系,提出轨道交通与其他交通方式的衔接技术;文献[4]采用非集计 Logit 模型建立并标定了换乘阻抗函数,建立综合客运枢纽换乘量预测模型;还有些文献是在综合交通枢纽规划布局中考虑换乘枢纽衔接的问题,而交通方式分担比例模型多应用于运输通道分担率计算过程中,都集中在宏观层面^[5-8]。但是从换乘行为决策过程出发,与交通方式分担相结合的研究还比较少。通过研究枢纽中旅客交通方式的选择行为,可对枢纽的客流量进行分配,在枢纽设施空间布局优化、换乘车站布局及设施规模评价等方面具有现实意义。为此,本文基于影响旅客交通方式选择因素的分析,从单个旅客的出行决策出发,采用效用最大化理论,建立旅客交通方式选择模型,结合调查数据进行算例分析。

1 交通方式选择分析

1.1 客观因素

客观因素是指枢纽本身的特性以及其周边的配套城市交通设施现状。换乘枢纽特性包括枢纽布局及其服务设施、周边衔接设施;城市交通基础设施包括有交通网络情况、各类公共交通配套设施(客车数量、停车站点、出租车停靠点等)、慢行基础设施(慢行廊道、自行车停靠点、公共自行车租赁点等)。基础设施是否完善,很大程度上影响了旅客交通方式的选择。公共交通的网络密度和覆盖率对于旅客选择公共交通至关重要,而城市的基础设施、道路路面宽度和人均拥有公共汽车数量等,又会影响到旅客选坐公交方便性;另一方面,各种设施的服务水平也是旅客选择的重要参考,随着人们出行需求的变化,

旅客在追求快速的同时,也要追求舒适性。慢行交通作为绿色交通的一个重要组成部分,其网络结构及完善程度也是交通方式选择的一个主要方面。

1.2 主观因素

从旅客出行的全过程来看,旅客在交通方式选择中的主要主观因素包括,出行需求、决策方式、客观外部环境因素。①出行需求:主要包括出行目的和出行距离,出行目的分为通勤出行(上班、上学等)、公务、社交等;一般的通勤出行选择公交、地铁等交通方式的概率较大,而公务、社交等出行则更多地选择出租车或私人小汽车;出行距离的长短也影响了不同的交通方式的选择。②决策方式:此处的决策方式是指计划性决策和临时决策,计划性决策就是在出行前就对路径选择有了很好的规划,包括在哪里换乘、采用什么样的交通方式,也可以理解为单阶段决策;另一种决策就是在出行前只决定当下的选择路线,每换乘一次决策一次,在整个出行过程中就有多次出行路线选择,这就是动态决策,根据具体的交通状况进行选择。③客观外部环境因素:主要是客观存在的因素,包括天气原因、可供选择的交通方式、旅客本身携带的行李等方面的原因。由于不同交通方式有各自的特征,因此在交通方式选择时就会有所偏差。

2 旅客交通行为分析

2.1 旅客选择行为的基本要素

交通方式的选择行为是一个主观决策过程,其决策过程如图 1 所示,这一过程与人们的日常出行密切相关,是出行者个体特性与所处客观环境共同作用的结果。主要包括旅客及其特性,选择枝及其属性,决策准则和决策结果。

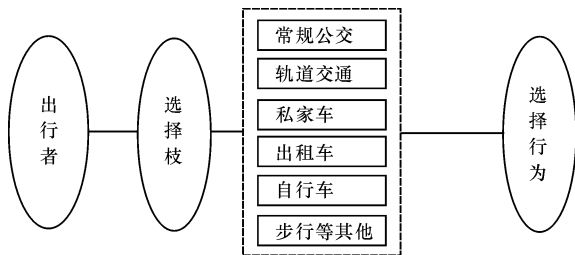


图 1 旅客交通方式选择行为

Fig. 1 Passenger traffic way choice

2.1.1 旅客的属性及其特性

出行者在选择交通方式的决策过程中受其社会经济属性的影响很大,由于个体特性差异,在面对同样的选择时,不同的人做出的选择不尽相同。影响出行者决策的个体特性主要包括社会经济特点(收入、交通工具拥有情况等)和本质的属性(偏好、对事物的判断等)。

2.1.2 选择枝及其属性

城市交通系统下可提供给出行者的选择枝集合称为选择枝全集,一般包括:轨道交通、常规公交、出租车、小汽车、自行车、步行等交通方式。任何 1 个旅客在进行一次出行时,都是在选择枝集合中选择决策,形成自己的选择集,即是全集的 1 个子集,该子集称为选择子集。选择子集中每 1 种交通方式对于旅客来说都是比较熟悉的,包括其性能、舒适性、经济性等。

2.1.3 决策准则

决策准则就是旅客在出行时对交通方式进行选择时,当选择子集包含 2 个或多个选择枝,需要一定的约束条件来实现决策,该约束条件称为决策准则。对交通出行来说,决策准则主要有 4 种类型^[2]。

(1)优势准则:对于旅客来说,如果一种交通方式优越于其他交通方式,则这种交通方式至少有 1 个属性优于其他的交通方式,同时,该交通方式的其他属性也不劣于与之相比的其他交通方式。

在现实情况下,由于各种交通方式的利弊并不是特别明显,因此,利用这一准则判断的结果可能不唯一,或者理想的结果有可能是不存在的。因此,优势准则就是将不同的交通方式根据不同需求进行优先排序。

(2)满意准则:对于旅客来说,在选择交通方式时,会对每种交通方式的每个特性设定 1 个水平作为满意标准,即“期望水平”。期望水平是旅客根据已经掌握的信息和以往经历或者经验而设定的预期值。被选择交通方式只要有一方面没有达到期望值,就可以排除。一般情况下,满意准则是比较重要的,同时也可以结合优势准则,取这 2 个准则的优点进行决策。

(3)排序准则:在旅客的心理一般都会有一系列的条件,并将这些条件按照重要性排序。在进行交通方式选择时,当第一重要性比选后,得到的选择枝将进行下一重要性的选择,如果不能通过排除法选出唯一的交通方式时,旅客将循环比选下去直至选出唯一的结果。

(4)效用准则:每次方式选择行为都具有理性,因此在选择时都会以效用最大化为目标,也作为选择的行为规则。且这一选择是掌握一定信息的理性选择,当信息不完善时,一般会做出适宜的假定,在一定信息情况下设定选择子集,最后做出理性的选择行为。

2.2 交通方式选择行为模型

综合上面分析的因素,可以认为最终反映在由旅客对某种交通方式的效用来决定,即一定环境下的交通方式效用最大化的原则。因此,旅客交通方式选择行为可以描述为:受环境和信息约束的、以效用最大化为准则的理性行为。其模型可以表达为

$$U=U(P,A,E)$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{如果 } U_i = \max_j \{U_j\} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中: U 为旅客的效用; y_i 为具体选择行为,1 代表选择,0 代表未选; P 为出行的本身属性,包括个体的年龄、性别和个性、收入等,学习的态度、性格等; A 为不同交通方式的属性,如速度、成本、舒适、安全和便利等特性; E 为旅客所处的外部环境,如经济发展水平、制度模式、周围环境等; U_i 为第 i 种方式的效用。

3 交通方式选择模型

3.1 引入心理变量的 MNL 模型

传统的 MNL 模型(随机效用离散模型)在针对人的出行选择的描述中,对于选择过程描述比较简单、笼统^[9]。根据前面的分析,旅客在进行选择决策时,有一个心理作用过程,旅客通过交通方式的属性特征分析,并结合自身的特征形成判断,即通过感知(Perceptions)和态度(Attitudes),形成对交通方式的偏好(Preferences)。因此,本文就将这一心理过程引入解释变量中,选择过程就是从解释变量出发,对每 1 种交通方式的效用进行判断,根据效用最大化原则得到选择结果。交通方式选择模型架构如图 2 所示。

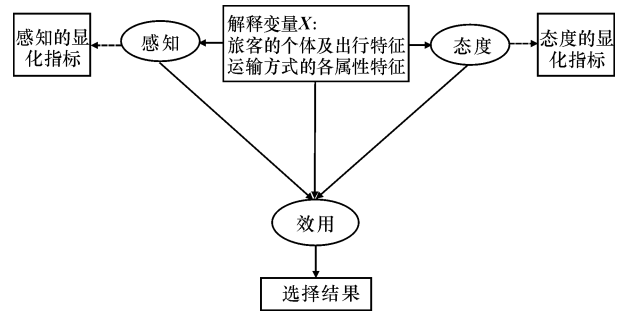


图 2 引入心理变量的 MNL 模型架构

Fig. 2 MNL model architecture with psychological variables introduced

从图 2 可以看出,该模型集成了心理变量,构建了基于离散选择的随机效用交通方式选择型框。旅客主要心理变量包括感知和态度,这 2 个重要因素决定着旅客交通方式的选择。感知主要反映旅客个体感觉的交通方式效用的认知变量,比如舒适、安全、便利、经济等特性;态度主要是指旅客个体根据自身需要及所处环境对某一种交通方式的偏好程度,比如在特定环境下,对交通方式的特性所作出的排序。

心理变量的量化要通过调查数据,应用最大似然法对模型进行估计。对于旅客的调查,直接观察其心理变化是不可行的,因此只能通过可观测、易量化的解释变量来确定心理变量的量化值。因此,模型中的参数标定通过抽样调查的方式,将心理变量

量化指标数据进行调查,后期进行处理得到。

3.2 选择效用的确定

选择效用就是以旅客的角度,选择最优方式出行,一般包括经济性、快速性、方便性、舒适性,旅客在进行选择时,就会从这几方面来衡量。设某换乘枢纽有 k 个旅客,交通方式的集合为 C ,旅客选择交通方式的效用函数可以表示为^[8]

$$U_{in} = \theta \mathbf{X}_{in} = \sum_{k=1}^k \theta_k x_{ink} \quad i \in C \quad (2)$$

式中: U_{in} 为旅客 n 选择 i 的效用; $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)^T$ 是未知参数向量; $\mathbf{X}_{in} = (x_{in1}, x_{in2}, \dots, x_{ink})$ 是旅客 n 的选择枝 i 的特性向量,特征向量由旅客选择交通方式时考虑的因素来确定。

则旅客选择交通方式的随机效用函数模型为

$$P_{ni} = \frac{e^{\sum_{k=1}^k \theta_k x_{ink}}}{\sum_{j \in C} e^{\sum_{k=1}^k \theta_k x_{inj}}} \quad (3)$$

式中: P_{ni} 为旅客 n 选择第 i 种交通方式的概率。

3.3 特征变量的选取

旅客在选择交通方式时,会对交通方式经济性、快速性、方便性、舒适性、准时性等指标进行比较后做出决策,因此本文选择经济性、快速性、方便性、舒适性等指标作为影响客流选择交通方式的指标。则特性向量可表示为 $\mathbf{X}_{in} = \{x_{in1}, x_{in2}, x_{in3}, x_{in4}\}$ 等于 {舒适性、快速性、经济性、方便性}, 具体如表 1 所示。

表 1 交通方式特性变量

Tab. 1 Traffic mode characteristic variables

交通方式	决策指标			
常规公交	x_{1n1}	x_{1n2}	x_{1n3}	x_{1n4}
出租车	x_{2n1}	x_{2n2}	x_{2n3}	x_{2n4}
私人小汽车	x_{3n1}	x_{3n2}	x_{3n3}	x_{3n4}
地铁	x_{4n1}	x_{4n2}	x_{4n3}	x_{4n4}
自行车(公共自行车)	x_{5n1}	x_{5n2}	x_{5n3}	x_{5n4}
步行	x_{6n1}	x_{6n2}	x_{6n3}	x_{6n4}

3.4 模型求解

模型求解采用最小二乘法进行确定。通过对各指标进行两两对比,并结合调查数据及专家经验法将对对比结果综合起来确定一组参数。

把 m 个指标 f_1, f_2, \dots, f_m 的重要性进行两两比较,得出重要性 a_{ij} ($a_{ij} \approx \omega_i / \omega_j$), ω_i 与 ω_j 分别表示 f_i 和 f_j 的权重。建立判断矩阵见表 2。

表 2 指标的判断矩阵

Tab. 2 Judgement matrix of indexes

指标	f_1	f_2	\dots	f_m
f_1	a_{11}	a_{12}	\dots	a_{1m}
f_2	a_{21}	a_{22}	\dots	a_{2m}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
f_m	a_{m1}	a_{m2}	\dots	a_{mm}

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \theta_1/\theta_1 & \dots & \theta_1/\theta_m \\ \vdots & & \vdots \\ \theta_m/\theta_1 & \dots & \theta_m/\theta_m \end{bmatrix}$$

a_{ij} 通常采用 1~9 的标度法进行标度,依据重要性分辨表示为:1、3、5、7、9,分别表示 f_i 与 f_j 重要的程度,数字越大越重要,而当处于 2 种重要程度之间时,依次取值 2、4、6、8。权系数的取值采用误差最小的目标函数求得,公式为

$$\min(z) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (a_{ij}\theta_j - \theta_i)^2 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \theta_i > 0 \quad i=1, 2, \dots, m \quad (5)$$

取最小值的 ω 。

应用 Lagrange 乘子法求解,对 ω_l ($l=1, 2, \dots, m$) 求一阶导数,且令一阶导数为 0,得到 n 个方程

$$\sum_{j=1}^m (a_{ij}\theta_l - \theta_i)a_{ij} + \sum_{i=1}^m (a_{ij}\theta_l - \theta_i) + \lambda = 0 \quad i=1, 2, \dots, m \quad (6)$$

写成矩阵形式,有 $\mathbf{M}\theta = \mathbf{e}$, 其中 $\omega = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)^T$, $\mathbf{e} = (-\lambda, -\lambda, \dots, -\lambda)^T$

$\mathbf{M} =$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n a_{i1}^2 + n - 1 & -(a_{12} + a_{21}) & \dots & -(a_{1n} + a_{n1}) \\ -(a_{21} + a_{12}) & \sum_{i=1}^n a_{i2}^2 + n - 1 & \dots & -(a_{2n} + a_{n2}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -(a_{n1} + a_{1n}) & -(a_{n2} + a_{2n}) & \dots & \sum_{i=1}^n a_{in}^2 + n - 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

由式(5)及式(7)求得 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ 。

4 实例分析

为了简化计算,本文以一换乘枢纽同一个方向客流交通方式选择为例进行分析,考虑到各地发展情况不一致,加上区域限制,调查时选择交通方式比较普遍的 3 种:常规公交、出租车和地铁。通过对调查数据整理分析(调查数据是通过问卷调查获取,主要包括被调查的基本属性及选择的方式喜好),得到各交通方式的属性值见表 3。

表 3 抽样调查基础数据

Tab. 3 Sample survey data

交通方式	方便性	经济性/元	快速性/(km · h ⁻¹)	舒适性
公交车	0.8	1	15	0.15
出租车	1.0	8	30	1.00
地铁	0.5	3	60	0.50

为了便于比较,将不同量纲的指标规范化。将各决策指标规范化,把各指标的值规范在 [0, 1] 之

间。本文根据指标的类型,采用效益成本变化对各指标进行规范化,规范公式为

$$z_{ij} = \begin{cases} \frac{y_{ij} - \min_i(y_{ij})}{\max_i(y_{ij}) - \min_i(y_{ij})} & \text{效益型指标} \\ \frac{\max_i(y_{ij}) - y_{ij}}{\max_i(y_{ij}) - \min_i(y_{ij})} & \text{成本型指标} \end{cases}$$

式中: z_{ij} 为规范化后的指标; y_{ij} 为具体的指标。
规范化后得到的决策指标矩阵如表 4 所示。

表 4 规范化后的决策指标

Tab. 4 Normalized decision indexes

交通方式	方便性	经济性	快速性	舒适性
常规公交	0.8	1.0	0.15	0.15
出租车	1.0	0.0	0.30	1.00
地铁	0.5	0.3	1.00	0.50

将各指标按重要性两两对比得出判断矩阵 A 为

$$A = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.800 & 2.000 & 4.000 \\ 1.250 & 1.000 & 2.500 & 5.000 \\ 0.500 & 0.400 & 1.000 & 1.200 \\ 0.250 & 0.200 & 0.833 & 1.000 \end{bmatrix}$$

采用最小二乘法得到矩阵 M 为

$$M = \begin{bmatrix} 23.64 & -2.05 & -2.50 & -4.25 \\ -2.05 & 38.81 & -2.90 & -5.20 \\ -2.50 & -2.90 & 1.85 & -2.03 \\ -4.25 & -5.20 & -2.03 & 3.80 \end{bmatrix}$$

求得参数 $\theta=(\theta_1,\theta_2,\theta_3,\theta_4)^T=(0.147,0.114,0.206,0.533)$,由式(2)可以得到 3 种交通方式的效用值 $U=($ 公交车,出租车,地铁) $^T=(1.886,0.513,1.950)$,最终得到 3 种交通方式的分担比率向量 $P=($ 公交车,出租车,地铁) $^T=(0.43,0.12,0.45)^T$ 。

5 结 语

(1)从交通条件和旅客特性的角度分析,影响旅客选择不同交通方式的因素可分为客观因素和主观因素:客观因素主要是换乘枢纽和城市的基础设施;主观因素主要包括决策方式、出行特性等。

(2)通过分析旅客对交通方式的选择行为,按效用最大化的原则,并引入心理变量(感知、态度),建立交通方式选择行为 MNL 模型。

(3)旅客的心理活动比较复杂,在对调查数据分析过程中,发现数据并不能完全反映旅客的心理变化,因此还需要进一步积累数据,寻找 1 个更好的指标来描述旅客的心理状态,或者采用多个可量化指标进行标定,需要下一步继续研究。

参考文献:

References:

[1] May A D,Roberts M. The design of integrated transport strategies [J]. Transport Policy, 1995, 17 (2): 97-105.

[2] 崔曙光. 大型客运枢纽客流疏散关键问题研究[D]. 西安:长安大学,2008.
CUI Shu-guang. Study on key problems of passenger flow's evacuation for large-scale passenger transport hub[D]. Xi'an:Chang'an University,2008. (in Chinese)

[3] 姜 帆. 城市轨道交通与其它交通方式衔接的研究[J]. 北方交通大学学报,2001,25(4):108-110.
JIAN Fan. Analysis and study of joining and cooperation between urban rail traffic and other modes [J]. Journal of Northern Jiaotong University,2001,25(4): 108-110. (in Chinese)

[4] 贾洪飞,宗 芳,乔 路. 综合客运枢纽换乘量预测方法[J]. 系统工程,2009,27(1):15-20.
JIA Hong-fei,ZONG Fang,QIAO Lu. Transfer volume forecasting method in comprehensive passenger transport Hub[J]. Systems Engineering,2009,27(1):15-20. (in Chinese)

[5] 吕 慎,田 锋,李旭宏. 组团式大城市客运综合换乘枢纽布局规划方法[J]. 交通运输工程学报,2007,7(4):98-103.
LU Shen,TIAN Feng,LI Xu-hong. Layout planning method for urban passenger intermodal transfer points in cluster cities[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2007,7(4):98-103. (in Chinese)

[6] 袁 虹,陆化普. 综合交通枢纽布局规划模型与方法研究[J]. 公路交通科技,2001,18(3):101-105.
YUAN Hong,LU Hua-pu. Study on model and method of comprehensive transportation terminal planning[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2001,18(3):101-105. (in Chinese)

[7] 袁长伟,吴群琪. 双核都市圈运输通道旅客分担率模型及应用[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(6):80-83.
YUAN Chang-wei,WU Qun-qi. Model of passenger travel shares rate in dual-nuclei metropolis transportation corridor[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2007,27(6):80-83. (in Chinese)

[8] 朱从坤,王 洁,冯焕焕. 区域运输通道内客运方式分担率模型[J]. 交通运输工程学报,2005,5(4):111-115.
ZHU Cong-kun,WANG Jie,FENG Huan-huan. Models of passenger traffic sharing rates of regional transport corridor[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2005,5(4):111-115. (in Chinese)

[9] 关宏志. 非集计模型交通行为分析的工具[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
GUAN Hong-zhi. The disaggregate model: traffic behavior analysis [M]. Beijing: China Communications Press,2004. (in Chinese)

