

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2020.09.014

基于时空约束的出行方式选择行为分析

董小楠¹, 闫章存², 赵怀明³, 胡 骥¹

(1. 西南交通大学 交通运输与物流学院, 四川 成都 610000;

2. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804;

3. 中铁二院工程集团有限责任公司, 四川 成都 610031)

摘要: 城市居民的日常出行往往受出行计划的限制。为定量分析其产生的时空约束对出行方式选择行为的影响, 以时空棱柱理论为基础, 构建了出行过程中的时空约束范围。通过计算时空可达性(包含变量活动地点吸引力、自由活动时间、交通时间)定量描述时空约束, 并将其作为选择方案的特性变量加入效用函数中, 建立了基于时空约束的多项 Logit 模型。通过问卷调查收集的数据进行模型标定与检验, 分析了时空约束对出租车、私家车、地铁及公交车 4 种出行方式的综合影响。将活动地点吸引力-自由活动时间及活动地点吸引力-交通时间进行组合, 研究了其共同作用下对出行方式选择的影响。结果表明: 出行计划中存在限制型活动的情形下, 时空约束为显著性影响因素, 其对 4 种交通方式的影响程度顺序为出租车 < 私家车 < 地铁 < 公交车; 对于不同时空范围内的出行, 活动地点吸引力-自由活动时间和活动地点吸引力-交通时间共同作用时, 对出行方式选择概率的影响存在较为明显的差异性。

关键词: 城市交通; 出行方式选择; 多项 Logit 模型; 时空约束; 城市出行; 时空可达性

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2020)09-0104-09

Analysis on Travel Mode Choice Behavior Based on Spatial-temporal Constraint

DONG Xiao-nan¹, YAN Zhang-cun², ZHAO Huai-ming³, HU Ji¹

(1. School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610000, China;

2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China;

3. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610031, China)

Abstract: The daily travel of urban residents is often restricted by travel plans. In order to quantitatively analyze the influence of the resulted spatial-temporal constraint on the travel mode choice behavior, the spatial-temporal constraints range is constructed based on the spatial-temporal prism theory. By calculating the spatio-temporal accessibility (including variable activity location attraction, free time, and travel time), the spatio-temporal constraints are quantitatively described and added to the utility function as the characteristic variables of the selection scheme, and a multiple Logit model based on the spatio-temporal constraints is established. The data collected through the questionnaire survey are used for calibrating and testing the model, and the comprehensive influence of the spatio-temporal constraints on the travel modes of taxi, private car, subway and bus. Combining activity location attraction-free activity time and activity location attraction-travel time, the influence of the combined action on the travel mode choice is studied. The result shows that (1) where there are restricted activities in the travel plan, the spatial-temporal constraints are significant factors, the order of the influence on the 4 travel modes is: bus, subway, car, taxi; (2) for

收稿日期: 2019-08-13

基金项目: 四川省重点研发项目(2018CZ0271)

作者简介: 董小楠(1995-), 女, 四川苍溪人, 硕士研究生. (381479072@qq.com)

travel in different spatio-temporal ranges, when the activity location attraction-free activity time and activity location attraction-travel time work together, there is a significant difference in the influence on the choice probability of travel mode.

Key words: urban traffic; choice of travel mode; multinomial Logit model; spatio-temporal constraint; urban travel; spatial-temporal accessibility

0 引言

随着城市化的迅速发展,居民出行需求显著提升,小汽车保有量呈持续增长趋势,而公共交通资源受城市空间结构限制,使得城市交通拥堵愈发严峻。合理高效地分配道路时空资源,成为缓解交通拥堵的必由之路。有效分析居民交通出行行为,精确把握出行选择规律,将对建设便捷通畅的城市综合交通运输体系提供有力支撑。对此,国内外学者在研究方法和选择行为方面特征做了大量研究,如 Ben-Akiva 等^[1]探讨了出行者的个性特征对个体行为的影响,提出将影响因素分为出行者特性、出行特性和交通工具特性3类; Terry 等^[2]以240名志愿者为对象进行行为试验,对出行时间选择行为展开了研究; 栾琨等^[3]基于北京市居民出行调查数据建立 Nested Logit 模型,对通勤者出行方式与出行链接选择影响关系进行了研究; Böcker 等^[4]利用 SEM 模型探讨了天气状况对出行方式选择和出行体验的影响; Felipe 等^[5]以共享汽车和共享单车出行方式为研究对象,建立了双变量有序 Probit 模型。近年来,也有学者从心理行为学等角度进行分析,如景鹏等^[6]基于计划行为理论框架,建立了考虑心理潜变量出行方式选择行为模型; 傅志妍等^[7]基于混合 Logit 模型分析了社交网络交通信息的心理变量对出行方式选择的影响; 罗剑等^[8]利用系统捕捉和随机捕捉建立 Mixed Logit 模型,分析了出行者对不同出行方式的感知时间差异。还有学者关注从时空约束的角度对出行方式选择行为的影响进行探究,如李敏迪^[9]基于离散选择模型提出距离效应是影响共享单车出行方式选择行为的重要因素; 吴文静等^[10]基于时空棱柱理论的范围限制,建立了目的地选择行为模型; 胡继华等^[11]通过计算时空约束下商业中心时空效用来客观反映可达性的变化,从而精确指导公交汽车出行者的出行选择。

现有研究主要是基于活动链、行为试验和出行行为角度进行分析,较少考虑出行计划中由限制型活动产生的时空约束的影响。本研究从空间行为地理学角度,基于时空棱柱理论,确定个体出行计划

的时空约束限制活动范围,建立时空约束下出行者交通方式选择行为模型,并分析时空约束对方式选择影响程度的差异。

1 个体出行时空过程

实际出行过程中,时空约束由个体出行计划、目的地与运载工具的空间位置等因素产生,出行者的决策受多个时间和空间位置要素的共同影响。时空棱柱理论^[12]将时间和空间因素结合为整体进行考虑,并对特定的时空约束进行定量描述,将个体在空间中的移动变化定义为时空路径,根据时空路径可得到如图1所示的时空棱锥。时空棱锥在地理空间平面上的投影又称为潜在活动区域,即个体在时空约束下可到达活动区域^[13-14]。

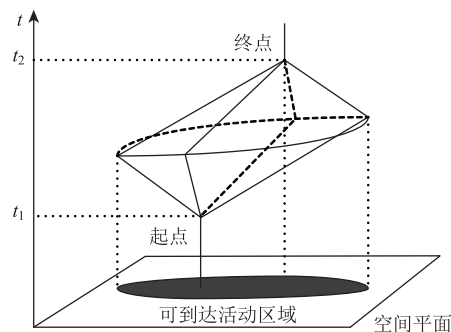


图1 时空棱锥

Fig. 1 Spatial-temporal prism

以成都市居民购物出行为例,其出行时空路径如图2所示,日程安排如下: a. (7:30—8:00) 上班, b. 9:00—11:30) 工作, c. (12:00—12:30) 午餐, d. (17:00—17:30) 下班, e. (17:30—20:00) 购物, f. (20:00—20:30) 回家。此期间内出行者到达活动地点并进行购物的总时间预算为150 min,活动地点的选择范围为工作单位与家之间可利用的150 min 出行空间范围。可选择的交通方式有地铁、公交汽车、出租车(包括网约车)及私家车4种。

该例中由限制型活动地点(工作单位)对非限制型活动地点(购物商区)产生的时空约束确定了该次出行过程中可到达的活动范围。

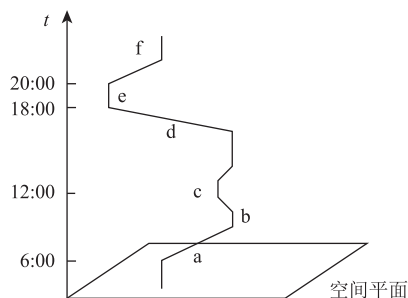


图2 个人出行时空路径

Fig. 2 Spatial-temporal path of personal travel

Kim 等^[15]提出了活动范围的详细计算方法,活动范围如图3所示,该椭圆区域由两个交点和两个切点划定。其中 T_{sum} 为总预算时间; T_{min} 为两活动地点间最短路径所用的行程时间。

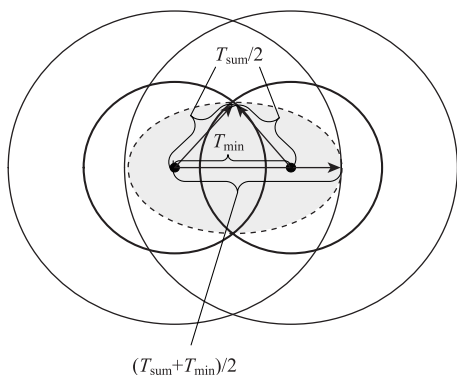


图3 活动范围示意图

Fig. 3 Schematic diagram of activity scope

根据以上出行计划与活动安排,运用活动范围确定方法在空间平面上得到了能够在 150 min 内完成购物出行活动的区域范围。图4为乘坐公交汽车和地铁的活动范围示意图,其中 O 点为下班后活动出发点, D 点为活动完成后的终点。

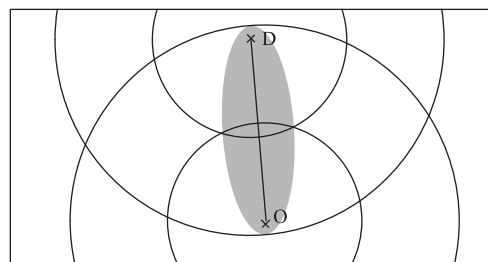
2 基于时空约束的出行选择模型构建

2.1 时空约束下的出行决策过程

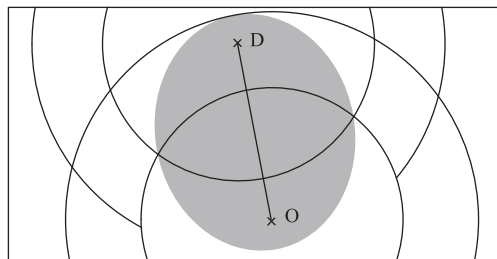
城市土地利用规划和交通规划决定了个体居住地、工作地或学校等限制型活动地点的空间位置,刚性活动和弹性活动计划的安排会对出行决策产生影响。基于此决策过程,依据时空可达性理论和随机效用理论,以时空约束属性、个人属性及交通方式属性构建出行方式选择行为模型,逻辑框架如图5所示。

2.2 考虑时空约束的出行方式选择行为模型

时空可达性的计算方式有3种^[16-17],基于个体出行最大时空效用值、活动地点效用值及最大活动地点效用值,采用最大活动地点效用模型来度量各交通



(a) 公交汽车



(b) 地铁

图4 时空约束下的活动范围示意图

Fig. 4 Schematic diagram of activity scope under spatio-temporal constraints

方式在特定时空约束下的时空可达性。其表达式为:

$$b_k = \begin{cases} 0, & \alpha_k = 0 \text{ 或 } T_k = 0 \\ \exp\left[\lambda\left(\frac{\alpha}{\lambda}\ln\alpha_k + \frac{\beta}{\lambda}\ln T_k - t_k\right)\right], & \text{其他} \end{cases}, \quad (1)$$

式中, k 为特定的活动地点(如购物场所); α_k 为特定活动地点 k 的吸引力; t_k 为出行过程中的交通时间; T_k 为个体在特定时空约束下可自由活动时间。参与活动的可自由活动时间由个体总的出行时间预算与出行过程中所选择交通工具耗费的时间所决定。 α , β , λ 分别为活动地点、自由活动时间和个体选择交通方式的时间对于活动地点效用值的影响系数,可参考时空可达性参数计算方法得到^[18]。

该种交通方式可达到所有活动地点的效用值总和为 AM , 计算公式为:

$$AM = \sum_{k \in S} b_k, \quad (2)$$

式中 S 为活动范围内可达地点集合。

将 AM 作为时空约束属性变量加入固定项中,且效用函数受时空可达性限制。个体 n 选择出行方式 i 的效用值 U_{ni} 的表达式为:

$$U_{ni} = \begin{cases} \sum_j \theta_j x_{nij} + \gamma AM_{ni} + \varepsilon_{ni}, & \alpha_k \neq 0 \text{ 且 } T_k \neq 0 \\ \sum_j \theta_j x_{nij} + \varepsilon_{ni}, & \alpha_k = 0 \text{ 或 } T_k = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

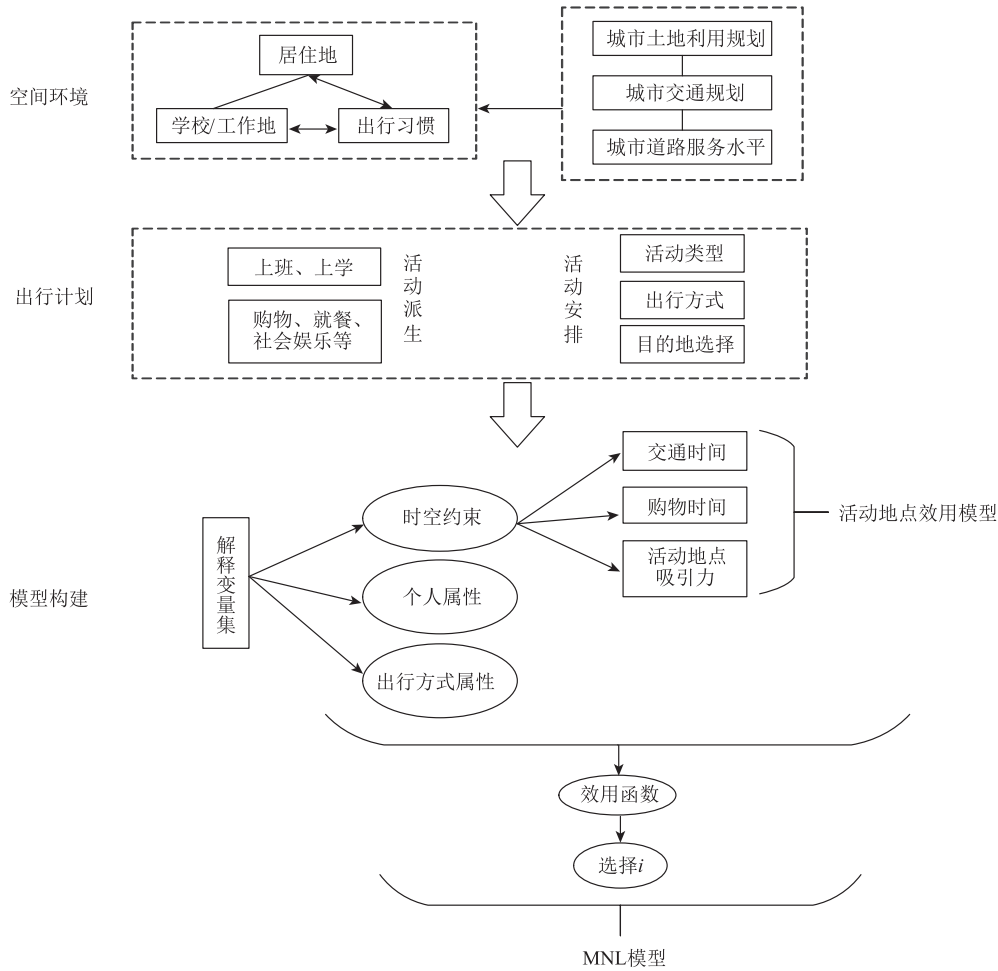


图5 模型构建逻辑框架

Fig. 5 Logic framework of modelling

式中, x_{nij} 为个体 n 选择方式 i 的第 j 个属性特征; γ 为时空特性的影响系数; θ_j 为其他因素的影响系数; AM_{ni} 为个体 n 选择方式 i 的时空可达性; ε_{ni} 为个体 n 选择出行方式 i 的随机效用项。

当 $\alpha_k \neq 0$ 且 $T_k \neq 0$ 时, b_k 的表达式为:

$$b_k = \exp(\alpha \ln \alpha_k + \beta \ln T_k - \lambda t_k) = \alpha_k^\alpha T_k^\beta \exp(-\lambda t_k). \quad (4)$$

将式 (4) 代入效用函数中, 得到在时间预算内完成出行计划的方案效用 U_{ni} 的表达式为:

$$U_{ni} = \sum_j \theta_j x_{nij} + \gamma \sum_{k=1}^M \alpha_{nik}^\alpha T_{nik}^\beta \exp(-\lambda t_{nik}) + \varepsilon_{ni}, \quad (5)$$

式中, α_{nik} , t_{nik} , T_{nik} 分别为个体 n 选择出行方式 i 时, 活动地点 k 的吸引力、到达活动地点 k 的交通时间、在活动地点 k 的自由活动时间。

那么, 在时空约束下, 在 $\alpha_k \neq 0$ 且 $T_k \neq 0$ 时, 个体 n 选择出行方式 i 的概率 $P_n(i)$ 为:

$$P_n(i) = \frac{\exp(\sum_j \theta_j x_{nij} + \gamma AM_{ni})}{\sum_{i \in I} \exp(\sum_j \theta_j x_{nij} + \gamma AM_{ni})}, \quad (6)$$

式中 I 为出行方式选择的集合。

3 模型标定

3.1 问卷调查及描述性统计结果

问卷调查以成都市居民出行数据为样本来进行模型参数的标定, 问卷的内容包括个人属性 (性别、年龄、收入), 出行习惯 (平均 1 周购物出行频率)、出行方式属性 (费用、舒适性) 和时空约束属性 (交通时间、活动地点吸引力、购物时间), 其中活动地点吸引力因个体的偏好不同采用李克特 5 点量表进行测量, 变量描述详见表 1。调查得到的样本数据为 293 份, 样本的出行时空偏好和方式选择统计分布情况如图 6 所示, 其中图例 1~6 表示偏好程度由低到高。

表 1 影响因素变量描述

Tab. 1 Description of influencing factor variables

类别	变量描述	变量名
个人	性别 (a. 男; b. 女)	SEX
	年龄/岁 (a. < 25, b. [25, 30), c. [30, 45), d. [45, 60), e. ≥60)	AGE
属性	月收入/元 (a. 0 ~ 1 500, b. 1 501 ~ 3 500, c. 3 501 ~ 5 000, d. 5 001 ~ 7 000, e. 7 001 ~ 10 000, f. > 10 000)	INCOME
出行习惯	过去平均 1 周购物出行频率/次 (a. ≤1, b. 1 ~ 3, c. > 3)	FRE
时空约束属性	活动地点吸引力	α_k
	乘坐交通工具时间	t_k
	自由活动时间	T_k
出行方式	乘坐交通工具所需费用	COST
属性	舒适性	COMF

3.2 模型参数标定结果

选出租车样本组为参照组，在 R 软件中调用 multinom 函数，经过批量梯度下降法迭代求解得到模型参数估计值。根据 Wald 检测得到的检验结果参数 p 值进行显著性判断，结果用 * 号表示，见表 2。

由表 2 估计结果可知，性别、年龄、购物出行习惯及舒适性在公交、私家车和地铁出行方式选择上均有正向显著影响；相比公交出行，收入对私家车出行更具有显著影响，而出行费用的变化在公共交通方式选择上比私家车更有显著负影响。

参数标定及显著检验结果表明，时空可达性对个体出行方式选择上比年龄、收入具有更强的影响，尤其是在公共交通方式选择方面。但私家车与出租车这类出行方式可达范围具有自由性，不同于公共交通受到车站位置的限制，时空可达性对其选择的影响较低。在不改变其他因素的情况下，公

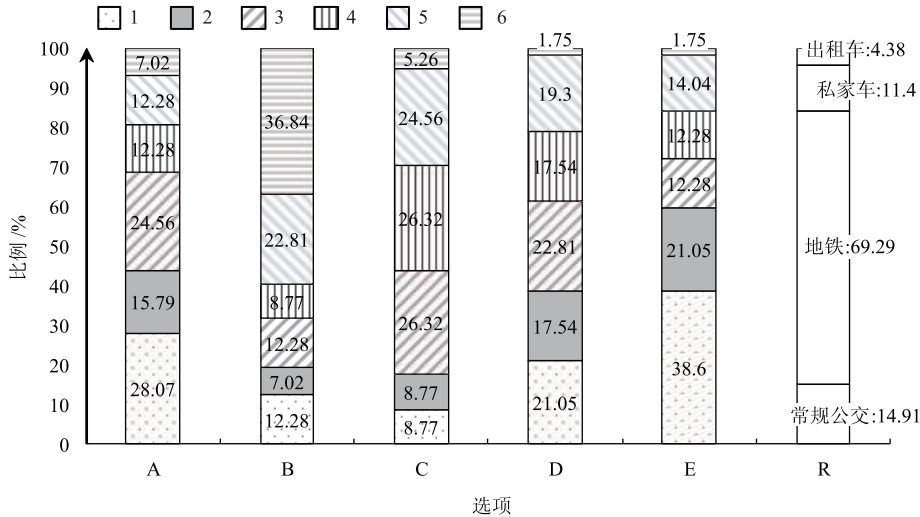


图 6 出行时空偏好和方式选择统计分布

Fig. 6 Statistical distribution of travel spatio-temporal preferences and mode selection

注：图例中 1~6 表示偏好程度由低到高。横坐标中，A 为位置偏远、设施较好、消费水平较高；B 为位置较近、设施较好、消费水平居中；C 为距离适中、设施丰富、消费水平居高；D 为附近、设施一般、消费水平较高；E 为附近、设施较差、消费水平较低；R 为交通方式选择结果。

表 2 参数估计结果

Tab. 2 Parameter estimation result

变量名	公交车		私家车		地铁	
	参数估计	标准差	参数估计	标准差	参数估计	标准差
性别	31.788 ***	9.69e-06	1.784 ***	2.09e-03	15.126 ***	7.26e-06
年龄	0.072 ***	3.97e-04	-0.169 **	0.064	0.287 ***	8.80e-04
月收入	0.008	0.103 4	0.046 5 **	2.34e-04	0.001	0.112
出行频率	23.162 ***	2.19e-05	0.735 ***	6.34e-04	1.802 ***	2.97e-05
时空可达性	0.632 ***	3.48e-03	0.005	0.007	0.233 ***	0.007
费用	-2.330 ***	2.73e-04	-0.012	0.025	-10.167 ***	1.38e-04
舒适性	6.606 ***	4.29e-05	1.590 ***	2.32e-03	1.434 ***	1.09e-04
常数项	70.420	1.05e-05	-1.015	1.12e-04	3.791	2.33e-05

注：*，**，*** 分别为在 85%，95%，99% 的水平上显著。对数似然函数值为 -8，残余偏差为 16.433 04，赤池信息准则值为 64.433 04，符合统计学要求，且模型拟合结果较好。

交汽车的 AM 值每增加 1 个单位,其相对于出租车的选择概率比为 $\exp(0.632) = 1.88$,地铁的相对概率比为 1.26,私家车的相对概率比为 1.005,因此,以出租车为标准, AM 对方式选择的影响程度大小应为私家车 < 地铁 < 公交汽车。

4 时空约束的影响性分析

4.1 时空约束综合影响分析

为理解时空约束在模型中的作用,首先分析其总体对选择行为的影响,即保持其他变量不变(取其平均值),改变 AM 变量的取值,使用拟合函数得到不同时空约束水平下出行方式选择的预测概率。见图 7。可以看出,各交通方式对时空约束下的可达性在不同取值范围具有明显的变化程度差异。

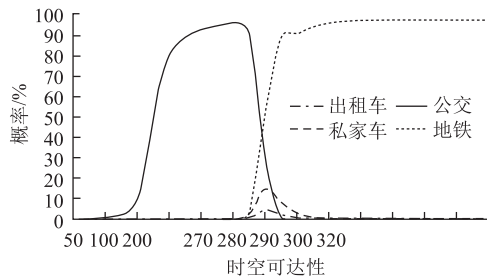


图 7 变量 AM 影响下的概率预测曲线

Fig. 7 Probability prediction curves under influence of variable AM

同时,采取计算弹性值的方式对影响因素进行灵敏度分析^[19],其计算式为:

$$E(S_{ij}) = \frac{\partial P_i}{\partial S_{ij}} \cdot \frac{S_{ij}}{P_i} = \theta_i (1 - P_i) \cdot S_{ij}, \quad (7)$$

式中, $E(S_{ij})$ 为选择出行方式 i 的概率对其第 j 种影响因素的弹性; P_i 为选择出行方式 i 的概率; θ_i 为第 i 种影响因素的估计参数值; S_{ij} 为出行方式 i 的影响因素 j 的平均值。

由此得到各交通方式在影响程度变化明显的取值范围内时空可达性的弹性值,如表 3 所示。

表 3 时空约束影响因素的弹性值

Tab. 3 Elastic values of spatial-temporal constraint influencing factors

出行方式	公交	私家车	地铁
最大值	215.238	1.682	79.014
平均值	150.869	1.655	41.400

时空可达性是衡量在特定时空约束下活动地点相对于出发点的效用值。 AM 值的增加对于个体来说,意味着在时间预算内完成活动目标的机会越大、

效率更高,但对于不同的交通方式花费的时间成本不同。通过整体的弹性值分析与概率预测分析可知:

(1) 选择公交汽车方式的概率从 $AM = 50$ 时趋于 0 开始上升,在 $AM = 285$ 时达到峰值并开始下降,而此时选择地铁方式的概率逐渐增加并在 $AM = 310$ 时达到最大之后趋于稳定。时空约束对公交汽车和地铁方式具有不同范围的显著性影响,说明在公共交通方式中当出行者在活动目标要求较低时(短距离、短时间、小型超市)更愿意选择公交汽车为出行方式或选择其他方式,如步行、自行车;当出行活动目标较高时(远距离、长时间、大型超市)会更倾向于选择地铁。

(2) 私家车的选择概率仅在 $AM = 280$ 时有小幅增长,其弹性值也较小,因此时空约束对出租车、私家车的的影响明显低于公交汽车与地铁。

4.2 时空约束内含因素影响分析

为进一步探究时空约束变量 AM 包含的活动地点吸引力 α_k 、交通时间 t_k 、自由活动时间 T_k 对出行方式选择的影响,将 α_k 分别与 T_k 和 t_k 进行组合,分析在时空约束所包含因素的共同影响下出行方式选择概率的变化,如图 8、图 9 所示。

从图 8 的概率变化及其范围可知,活动地点吸引力与交通时间共同作用时,对选择出租车的影响低于私家车,同时对公交汽车和地铁具有更为显著性的影响。具体来看,在 $10^4 < \alpha_k < 10^5$ 且 $0 < t_k < 0.5$ h 的时空范围内,选择出租车、公交汽车、私家车的概率均在达到第 1 个峰值后下降,而选择地铁的概率则保持稳定增长;当 $3 \times 10^5 < \alpha_k < 4 \times 10^5$ 且 $1 \text{ h} < t_k < 1.5 \text{ h}$ 时,选择 4 种交通方式的概率均达到最大值,且选择地铁的概率先于其他 3 种交通方式开始降低。其中,当 $3 \times 10^5 < \alpha_k$ 且 $1 \text{ h} < t_k$ 时,活动地点吸引力的增长已无法弥补交通时间的增加带来的缺陷,之前逐步提高的 AM 值在达到 350 后逐渐降低。同时结合图 7 的分析,可解释图 8 中呈现以上变化趋势的原因。

活动地点吸引力与自由活动时间共同作用对各出行方式选择概率的影响如图 9 所示,影响程度顺序同图 8,其变化趋势与图 8 具有明显差异。具体来看,当 $10^5 < \alpha_k < 2 \times 10^5$ 且 $0.5 \text{ h} < T_k < 1 \text{ h}$ 时,各出行方式选择概率均呈增长趋势,其中出租车、公交汽车、私家车的选择概率在达到最大值后降低,而地铁则保持稳步增长。出现该趋势的原因是, $2 \times 10^5 < \alpha_k$ 且 $1 \text{ h} < T_k$ 时,活动地点吸引力与自由活动时间的增长使得 AM 值呈持续增长逐渐超过 500,此

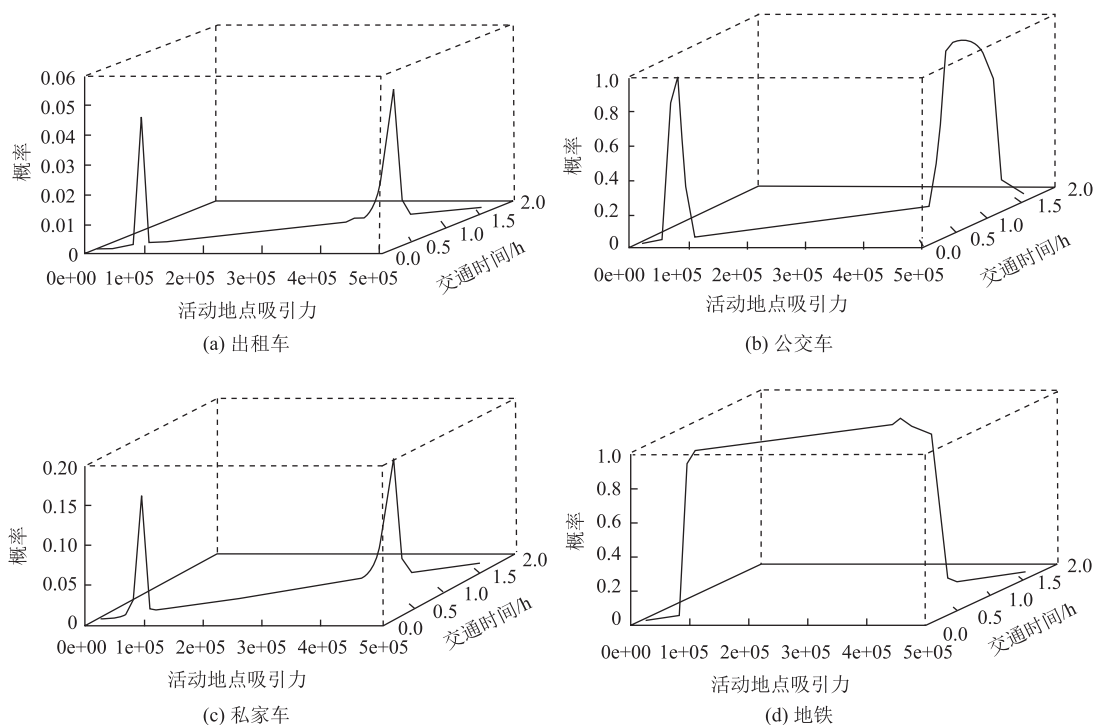


图8 活动地点吸引力与交通时间对概率的综合影响

Fig. 8 Comprehensive influence of activity location attraction and travel time on probability

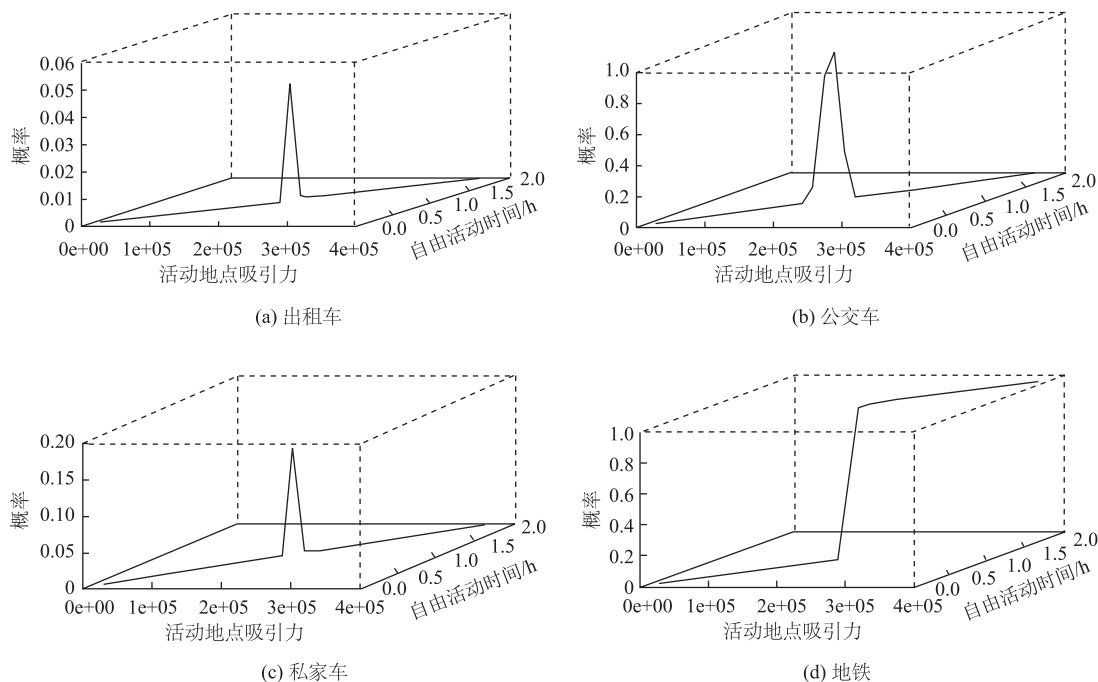


图9 活动地点吸引力与自由活动时间为概率的综合影响

Fig. 9 Comprehensive influence of activity location attraction and free activity time on probability

时各出行方式变化可参考图7分析。

综合上述分析可知,出行计划中存在限制型活动的情形下,时空约束对4种交通方式选择概率的影响顺序为:出租车<私家车<地铁<公交汽车。在近距离时空范围出行时,选择上述4种出行方式

的人群对交通时间的敏感性都高于自由活动时间为。不同的是,在中等距离出行时空范围内,选择出租车、公交汽车、私家车的人群对自由活动时间的偏好性更强,而选择地铁的人群更关注的是活动地点吸引力。在远距离时空范围内出行时,若能满足适

中的自由活动时间,选择地铁出行的人群对交通时间的敏感性更强,而选择其他3种出行方式的人群此时更在意活动地点吸引力。

5 结论

以时空棱柱理论为基础,从空间行为地理学角度提出了限制型出行活动中存在时空约束的概念。即个体出行方式的选择与其所处的位置和出行计划有关,其出行计划和所在位置决定了出行过程中的时空约束。将出行者选择行为放置于约束空间中,进行基于活动范围约束的交通方式选择行为分析,利用活动地点效用模型得到时空约束属性变量,对效用函数进行改进从而建立基于时空约束的出行方式选择行为模型。使用问卷调查数据对模型参数进行标定,检验结果显示拟合效果较好。时空约束的综合影响与内在因素影响分析表明,时空约束对公交汽车、地铁具有显著性影响,且对公交汽车的影响高于地铁,而对私家车、出租车的影响程度则较小;在不同时空范围内出行时,时空约束包含的活动地点吸引力、自由活动时间、交通时间对不同交通方式选择概率的影响存在明显的差异性。

参考文献:

References:

- [1] BEN-AKIVA M, BOCCARA B. Discrete Choice Models with Latent Choice Sets [J]. International Journal of Research in Marketing, 1995, 12 (1): 9-24.
- [2] DANIEL T E, GISCHES E J, RAPOPORT A. Departure Times in Y-shaped Traffic Networks with Multiple Bottlenecks [J]. American Economic Review, 2009, 99 (5): 2149-2176.
- [3] 栾琨, 隽志才, 宗芳. 通勤者出行方式与出行链选择行为研究 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (6): 107-111.
LUAN Kun, JUAN Zhi-cai, ZONG Fang. Research on Commuter's Choice Behavior between Travel Mode and Trip Chain [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (6): 107-111.
- [4] BÖCKER L, DIJST M, FABER J. Weather, Transport Mode Choices and Emotional Travel Experiences [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2016, 94: 360-373.
- [5] DIAS F F, LAVIERI, PATRÍCIA S, GARIKAPATI V M, et al. A Behavioral Choice Model of the Use of Car-sharing and Ride-sourcing Services [J]. Transportation, 2017, 44: 1307-1323.
- [6] 景鹏, 隽志才, 查奇芬. 考虑心理潜变量的出行方式选择行为模型 [J]. 中国公路学报, 2017, 27 (11): 84-108.
JING Peng, JUAN Zhi-cai, ZHA Qi-fen. Incorporating Psychological Latent Variables into Travel Mode Choice Model [J]. China Journal of Highway and Transport, 2017, 27 (11): 84-108.
- [7] 傅志妍, 赵翰林, 陈坚, 等. 社交网络交通信息对出行方式选择行为影响模型 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19 (2): 22-29.
FU Zhi-yan, ZHAO Han-lin, CHEN Jian, et al. Influence Model of Social Network Traffic Information on the Travel Mode Choice Behavior [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19 (2): 22-29.
- [8] 罗剑, 王树盛, 李旭宏, 等. 出行方式选择行为的个体时间感知差异性建模分析 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (2): 114-129.
LUO Jian, WANG Shu-sheng, LI Xu-hong, et al. Modeling Travel Mode Choice Behavior and Individual Time Preference Heterogeneity [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (2): 114-129.
- [9] 李敏迪. 车辆供给和距离效应对公共自行车借车行为影响 [J]. 公路交通科技, 2017, 34 (2): 121-128.
LI Min-di. Effect of Bike Supply and Distance Effect on Behavior of Borrowing Public Bikes [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2017, 34 (2): 121-128.
- [10] 吴文静, 隽志才, 孙宝凤. 基于时空棱柱方法的目的地选择行为建模 [J]. 吉林大学学报: 工学版, 2012, 42 (3): 612-617.
WU Wen-jing, JUAN Zhi-cai, SUN Bao-feng. Destination Choice Behavior Modeling Based on Space-time Prism Method [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2012, 42 (3): 612-617.
- [11] 胡继华, 黄泽, 程智锋. 公交乘客在商业中心区购物的时空效用变化分析 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2015, 34 (6): 101-110.
HU Ji-hua, HUANG Ze, CHENG Zhi-feng. Analysis on Space-Time Benefit Change of Bus Passengers' Shopping in Commercial Center [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science Edition, 2015, 34 (6): 101-110.
- [12] HAGERSTRAND T. What about People in Regional Science? [J]. Urban Planning International, 2010, 24 (1): 143-158.
- [13] 李清泉. 交通地理信息系统技术与前沿发展 [M]. 北

- 京: 科学出版社, 2012.
- LI Qing-quan. Traffic Geographic Information System Technology and Frontier Development [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [14] REGINALD G G, ROBERT J S. 空间行为的地理学 [M]. 柴彦威, 等译. 北京: 商务印书馆, 2013.
- REGINALD G G, ROBERT J S, et al. Spatial Behavior: A Geographic Perspective [M]. CHAI Yan-wei, et al translated. Beijing: Commercial Press, 2013.
- [15] KIM H M, KWAN M P. Space-time Accessibility Measures: A Geocomputational Algorithm with a Focus on the Feasible Opportunity Set and Possible Activity Duration [J]. Journal of Geographical Systems, 2003, 5 (1): 71-91.
- [16] TIMMERMAN H, ARENTZE T, JOH C H. Modeling Effects of Anticipated Time Pressure on Execution of Activity Programs [J]. Transportation Research Record, 2001, 1752: 8-15.
- [17] 胡继华, 李国源, 钟广鹏. 基于公交时空过程的城市时空可达性计算方法 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2014, 14 (4): 147-159.
- HU Ji-hua, LI Guo-yuan, ZHONG Guang-peng. Measuring Space-time Accessibility within Bus Network Based on Space-time Process of Bus [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2014, 14 (4): 147-159.
- [18] MILLER H J. Measuring Space-time Accessibility Benefits within Transportation Networks: Basic Theory and Computational Procedures [J]. Geographical Analysis, 1999, 31 (1): 1-26.
- [19] 景鹏, 隗志才, 贾玲玉. 采用均匀设计 SP 调查的出行方式选择建模与敏感性分析 [J]. 预测, 2014, 31 (4): 75-80.
- JING Peng, JUAN Zhi-cai, JIA Ling-yu. Modeling and Sensitivity Analysis of Travel Choice Based on Uniform Design and SP Survey [J]. Forecasting, 2014, 31 (4): 75-80.
-
- (上接第 103 页)
- [8] LEE S G, HICHMAN M. Trip Purpose Inference Using Automated Fare Collection Data [J]. Public Transport, 2014, 6 (2): 1-20.
- [9] GORDON J B, KOUTSOPOULOS H N, WILSON N H M, et al. Automated Inference of Linked Transit Journeys in London Using Fare-transaction and Vehicle Location Data [J]. Transportation Research Record, 2013, 2343: 17-24.
- [10] NASSIR N, HICHMAN M, MA Z L. Activity Detection and Transfer Identification for Public Transit Fare Card Data [J]. Transportation, 2015, 42 (4): 1-23.
- [11] WENG X X, LIU Y X, SONG H B, et al. Mining Urban Passengers' Travel Patterns from Incomplete Data with Use Cases [J]. Computer Networks, 2018, 134: 116-126.
- [12] HANSON S, HUFF O J. Assessing Day-to-day Variability in Complex Travel Patterns [J]. Transportation Research Record, 1982, 891: 18-24.
- [13] HANSON S, HUFF O J. Systematic Variability in Repetitious Travel [J]. Transportation, 1988, 15: 111-135.
- [14] HUFF O J, HANSON S. Repetition and Variability in Urban Travel [J]. Geographical Analysis, 1986, 18 (2): 97-114.
- [15] BARRY J J, FREIMER R, SLAVIN H. Use of Entry-only Automatic Fare Collection Data to Estimate Linked Transit Trips in New York City [J]. Transportation Research Record, 2009, 2112: 53-61.
- [16] CAI H, KULKARNI S R, VERDU S. Universal Entropy Estimation Viablock Sorting [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2004, 50 (7): 1551-1561.
- [17] GAO Y, KONTOYIANNIS I, BIENENSTOCK E. Estimating the Entropy of Binary Time Series: Methodology, Some Theory and a Simulation Study [J]. Entropy, 2008, 10 (2): 71-99.
- [18] ADJEROH D, BELL T, MUKHERJEE A. The Burrows-wheeler Transform; Data Compression, Suffix Arrays, and Pattern Matching [M]. Boston: Springer, 2008.