

文章编号:1672-9331(2020)04-0070-08

基于累积前景理论的地铁运营中断后乘客出行行为

柳伍生,潘自翔,龙 思,陈 颖,郭 权

(长沙理工大学 交通运输工程学院,湖南 长沙 410114)

摘要:为揭示地铁运营中断后地铁沿线居住乘客出行行为的不确定性问题,基于累积前景理论(cumulative prospect theory,CPT)对受事件影响的地铁乘客的出行行为展开研究。根据事件的持续时长和影响范围,将其分为 6 种情形,并对应 5 种决策行为。以出行时间和费用的加权值作为参考点,推导出 5 种决策行为的出行成本计算公式。以上海地铁 5 号线为例,通过实地调查得到各出行行为的实际出行时间、费用及概率,计算在 6 种事件情形下不同出行目的和出行行为的累积前景值。研究结果表明:在不同事件情形下乘客的出行选择存在较大差异,出行目的是影响其决策的重要因素;当事件持续时长超过 1.5 h 且影响范围较大时,常规公交和网约车成为首选出行方式;乘客的实际选择与 CPT 的分析结果较为吻合,本研究所建的基于 CPT 的模型能较好地分析在事件影响下乘客的出行选择。最后,提出科学的应对策略以缓解事件的负面效应。

关键词:城市交通;累积前景理论;出行行为;地铁运营中断;出行成本

中图分类号:U491

文献标志码:A

Passenger travel behaviors after subway operation interruption based on cumulative prospect theory

LIU Wu-sheng, PAN Zi-xiang, LONG Si, CHEN Ying, GUO Quan

(School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: To reveal the uncertainty of the travel behaviors of passengers living along the subway line after the subway operation disruption, the travel behaviors of subway passengers influenced by the incident were studied based on the cumulative prospect theory (CPT). According to the duration and influence range of the incident, there were 6 kinds of incident situations and 5 kinds of decision-making behaviors were proposed. Taking the weighted value of travel time and expense as the reference, the calculation formulas of travel cost of 5 kinds of decision-making behaviors were deduced. Taking Shanghai Metro Line 5 as an example, the actual travel time, expense and probability of each behavior were gotten through the field investigation, and the cumulative prospect values of travel behaviors with different travel purposes for 6 kinds of incident situations were calculated. The study results show that there are great differences in passengers' travel choices at different incident

收稿日期:2020-04-06

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(2019JJ40306);长沙理工大学道路灾变防治及交通安全教育部工程研究中心开放基金资助项目(kfj180401)

通讯作者:柳伍生(1976-),男,湖北监利人,长沙理工大学副教授,主要从事交通行为不确定分析、综合交通枢纽规划与设计等方面的研究。E-mail:lwusheng@163.com

situations, and the purpose of travel is an important factor influencing their decision-making. Moreover, regular public transport and online car-hailing service become the preferred modes of travel when the incident lasts longer than 1.5 h and the influence range is large. The actual selections of passengers are consistent with the CPT analysis results, and the model based on CPT can better analyze the passengers' travel choices with the influence of the incident. Finally, scientific countermeasures are given to alleviate the negative effects of the incident.

Key words: urban traffic; cumulative prospect theory; travel behavior; subway operation disruption; travel cost

地铁因其快捷、廉价等优点而成为一线、新一线城市最受青睐的交通工具之一,尤其对于居住在沿线的居民,地铁出行已经成为一种常态。但一些不可预知的设备故障、极端天气和人为因素等会导致地铁部分车站、区段停运或中断^[1-3]。地铁运营中断使既定列车运行计划不得不做出大规模的调整^[3],与此同时,原计划乘坐地铁的乘客的出行也深受其影响。为掌握在事件发生后地铁乘客的出行行为倾向,进而提供出行引导建议,本研究对不同事件情形下的地铁乘客出行行为进行了探索分析。

在地铁运营中断后的出行行为方面,国内外学者的研究主要集中在站在途乘客的出行选择行为。李伟等^[4]利用多智能体仿真方法构建仿真模型,研究了在突发事件下乘客出行路径的改变行为;Pneumatikou等^[5]考虑了在突发事件影响下乘客的出行选择行为特征,并建立了方式选择模型;尹浩东^[2]分别对封站和区间中断场景下的乘客行为决策机制进行了研究,构建了封站条件下的乘客个体出行行为最优化模型和分层离散选择模型;许凯等^[6]用前景理论研究了在发生短时事件时站内乘客的择路行为。总的来说,以往研究未关注到事件对站外未出发地铁乘客出行行为的改变,且未区分具体事件情形对乘客的影响,同时缺乏在运营中断情形下改进地铁沿线交通管理的对策研究。

关于在不确定和风险情形下的行为决策,应用较多的为Tversky等^[7]提出的前景理论和在其基础上改进得到的累积前景理论。江红等^[8]基于累积前景理论对不同航班延误情景下旅客的选择行为进行了研究;田丽君等^[9-10]对比分析了累积前

景理论和期望效用理论两种理论框架下个体的决策行为,结果表明累积前景理论在不确定情形下能更好地描述出行方式选择行为;徐爱庆等^[11]基于累积前景理论构建了机场群情景下航空旅客机场选择的行为模型;王灏等^[12]基于累积前景理论研究了在路内停车价格调整影响下停车者的出行行为。

此外,有研究表明社交网络信息是影响出行者进行行为决策的重要因素。Hackney等^[13]基于代理的方法研究了社交网络在出行决策中的作用;张兆泽等^[14]利用重庆市问卷调查数据研究了社交网络信息对出行方式选择行为的影响;刘天亮等^[15]研究了非正式社交渠道对个体出行决策的影响。

本研究以从家出发的地铁乘客为研究对象,基于累积前景理论构建出行行为模型,重点探究运营中断对地铁乘客出行行为的改变,并假设地铁乘客从社交网络接收了事件发生的信息,且乘客能利用社交网络交通信息帮助自己做出效益最大化的决策。本研究结果可为交通管控提供一定的理论支持。

1 问题描述

运营中断致使地铁部分区段不能提供正常服务,进而打乱了地铁乘客的原定出行计划。本研究以上海地铁5号线为例,研究运营中断对地铁乘客出行行为的改变。上海地铁5号线近年来屡次在通勤时段发生运营中断事件,极大地影响了居民的正常出行。且每次的运营中断事件都会成为人们热议的焦点,地铁沿线的多数居民对于这种状况曾经经历过或听说过而有了心理共识。

假设在一次地铁运营中断事件后,乘客在出发前由社交网络知道地铁发生了中断且已知晓事件的影响范围(哪些站点中断),若按既定策略出行,会导致如上班迟到、事务耽搁等一些不良后果。本研究即探讨在此情形下地铁乘客的出行选择和出行行为偏好。

为判断运营中断事件对地铁乘客出行的影响

程度,本研究按照事件影响范围和持续时长划分出了6种事件情形(见图1)。针对这6种事件情形,乘客可采取以下5种决策行为(后文用①~⑤代替):①改乘长距离常规公交;②先乘公交到事件未影响到的某一地铁站点,再乘地铁(公交加地铁);③改乘网约车;④改骑共享单车;⑤在家等地铁运营恢复后,再乘地铁出行。

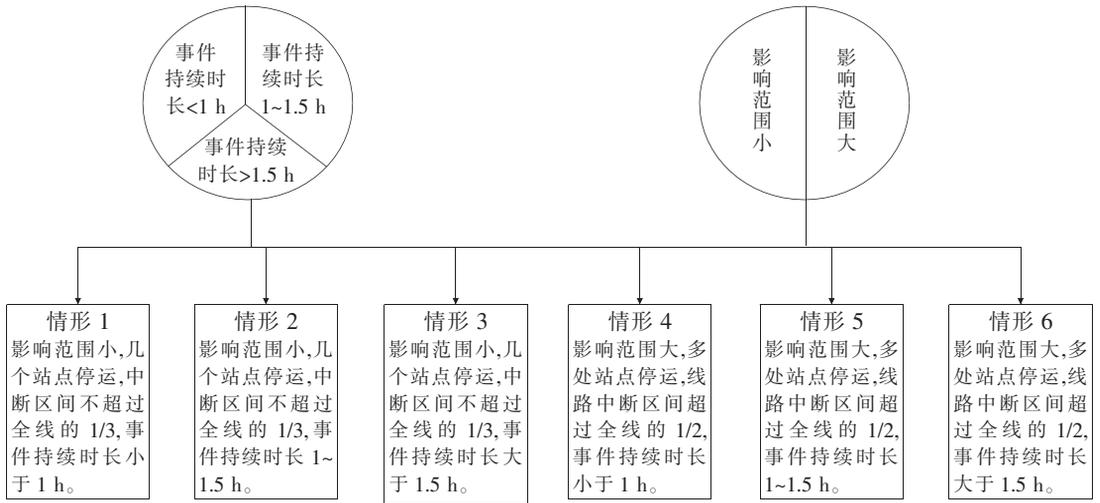


图1 事件情形划分及描述

Fig. 1 Division and description of incident situations

2 模型构建

地铁乘客在出发前的出行行为因事件情形不同、自身感知差异和多变的交通网络条件,是一个不确定的决策问题。同时,人们的决策选择受个人风险认知、风险敏感程度等的影响而表现出有限理性的特征^[7]。累积前景理论(cumulative prospect theory, CPT)适用于在风险环境下的决策问题,本研究即基于累积前景理论进行模型的构建。

2.1 价值函数

根据 Tversky 等^[7]的研究,价值函数可以表达为:

$$v(y_j) = \begin{cases} y_j^\alpha, & y_j \geq 0 \\ -\lambda y_j^\beta, & y_j < 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: α, β 为风险偏好系数, λ 为损失规避系数,取 $\alpha = \beta = 0.88, \lambda = 2.25$ ^[7]; y_j 为乘客选择某种出行行为的损益值, $y_j \geq 0$ 表示第 j 种出行行为

的结果为收益, $y_j < 0$ 表示第 j 种出行行为的结果为损失。

2.2 决策权重函数

采用 Tversky 等^[7]提出的权重函数,决策行为的概率权重可表示为:

$$w^+(p) = \frac{p^\gamma}{[p + (1-p)^\gamma]^{\frac{1}{\gamma}}} \quad (2)$$

$$w^-(p) = \frac{p^\sigma}{[p + (1-p)^\sigma]^{\frac{1}{\sigma}}} \quad (3)$$

式中: p 为行为发生的概率; $w^+(p), w^-(p)$ 分别为收益和损失的主观感知概率; γ, σ 为收益和损失的态度系数,取 $\gamma = 0.61, \sigma = 0.69$ ^[7]。

累积决策权重为:

$$\pi_j^+ = w^+(p_j \cup \dots \cup p_n) - w^+(p_{j+1} \cup \dots \cup p_n), 0 \leq j < n. \quad (4)$$

$$\pi_j^- = w^-(p_{-h} \cup \dots \cup p_j) - w^-(p_{-h} \cup \dots \cup p_{j-1}), -h < j \leq 0. \quad (5)$$

$$\pi_n^+ = w^+(p_n). \quad (6)$$

$$\pi_{-h}^- = w^-(p_{-h}). \quad (7)$$

式中: p_j 为第 j 种状态出现的概率; p_n 为第 n 种正的状态出现的概率; p_{-h} 为第 h 种负的状态出现的概率; π_j^+ , π_j^- 为正、负累积决策权重函数。

2.3 累积前景值

用 $V(f)^+$ 和 $V(f)^-$ 分别表示收益部分和损失部分的累积前景值。采用 Tversky 等^[7] 提出的累积前景值计算公式,可计算出各出行行为的累积前景值 $V(f)$:

$$V(f) = V(f)^+ + V(f)^-. \quad (8)$$

$$V(f)^+ = \sum_{j=1}^n \pi_j^+ v(y_j). \quad (9)$$

$$V(f)^- = \sum_{j=-h}^0 \pi_j^- v(y_j). \quad (10)$$

3 出行成本量化及参考点设定

3.1 出行成本量化

实际出行成本 Q 包括时间费用 T 和金钱费用 M ,前者指乘客从家到出行讫点所需的时间费用,后者指地铁票费、车费等。下面分别对 5 种决策行为的出行成本进行量化分析。

1) 改乘公交出行成本 O_1 ,包含乘坐公交的时间费用 T_1 和金钱费用 M_1 。

$$\begin{cases} O_1 = T_1 + M_1 \\ T_1 = (T_a + T_b)\theta_t \\ \{M_1 = M_a \\ \theta_t = \frac{P}{O} \end{cases}. \quad (11)$$

式中: T_a 为步行到公交站和等待公交车的时间; T_b 为公交车行驶时间; M_a 为公交票费,若有换乘,则包括换乘后的票费; θ_t 为时间成本,元/h; P 为乘客月薪; O 为乘客月工作时间。

2) 改乘公交加地铁出行成本 O_2 ,包含乘公交加地铁的时间费用 T_2 和金钱费用 M_2 。

$$\begin{cases} O_2 = T_2 + M_2 \\ \{T_2 = (T_a + T_b + T_c + T_d)\theta_t \\ \{M_2 = M_a + M_b \end{cases}. \quad (12)$$

式中: T_c 为换乘到地铁站后步行和等待地铁的时间; T_d 为地铁行驶时间; M_b 为地铁票费。

3) 改乘网约车出行成本 O_3 ,包含乘网约车的时间费用 T_3 和金钱费用 M_3 。

$$\begin{cases} O_3 = T_3 + M_3 \\ \{T_3 = (T_e + T_f)\theta_t \\ \{M_3 = M_c \end{cases}. \quad (13)$$

式中: T_g 为步行和等待网约车的时间; T_f , M_c 分别为乘网约车的行驶时间、车费。

4) 改骑共享单车出行成本 O_4 ,包含骑共享单车的时间费用 T_4 和金钱费用 M_4 。

$$\begin{cases} O_4 = T_4 + M_4 \\ \{T_4 = (T_g + T_h)\theta_t \\ \{M_4 = M_d \end{cases}. \quad (14)$$

式中: T_g 为步行和找单车所需时间; T_h 为单车的行驶时间; M_d 为骑单车所需的费用。

5) 等待再乘地铁出行成本 O_5 ,包含等待、步行、等车、乘车的时间费用 T_5 和乘地铁的金钱费用 M_5 。

$$\begin{cases} O_5 = T_5 + M_5 \\ \{T_5 = (T_i + T_j + T_d)\theta_t \\ \{M_5 = M_b \end{cases}. \quad (15)$$

式中: T_i 为在家等待的时间,可视为事件持续的时间; T_j 为从家出发到地铁站和等地铁的时间。

3.2 参考点设定

参考点是在某个出行行为实施后收益和损失的临界点,如何设定参考点关系到乘客最后的出行选择行为。本研究以乘客采取某种出行行为所期望的出行成本 U_j 作为参考点,并还原乘客参考点设定的全过程。设定参考点的步骤为:

Step 1: 根据事件具体情形设定最佳出发时刻 t_m , 并根据自身异质性设定时间费用权重系数 β_1 、金钱费用权重系数 β_2 和自身的时间成本 θ_t 。

Step 2: 感知和计算在选择第 i 种出行行为时所花费的时间费用 T_i 。

Step 3: 感知和计算在选择第 i 种出行行为时所花费的金钱费用 M_i 。

Step 4: 根据不同出行行为的时间费用、金钱费用和设定的权重系数与自身时间价值,估算出不同出行行为的总出行费用 U_j , 其计算公式为:

$$U_j = \theta_t \beta_1 T_i + \beta_2 M_i. \quad (16)$$

收益或损失取决于期望出行费用 U_j 和实际出行费用 U_a 的大小,即损益值 $y_j = U_a - U_j$ 。图 2 为乘客在遭遇事件后的出行决策过程。

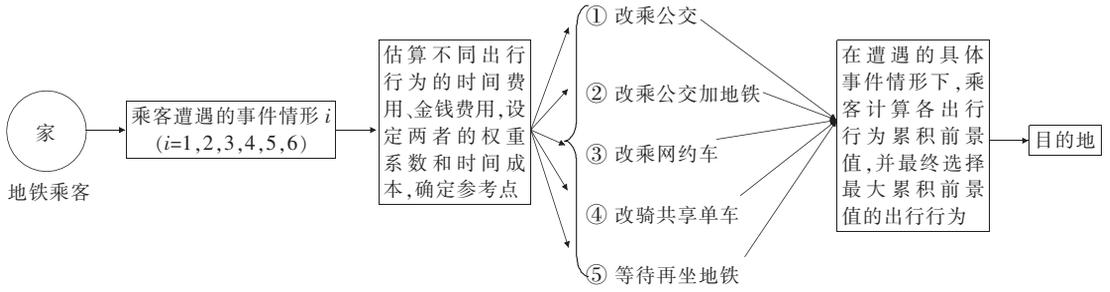


图2 出行决策过程

Fig. 2 Travel decision-making process

4 实证分析

为验证所建模型的可靠性和适用性,以上海地铁5号线为例进行实证分析。5号线周边居住着大批“地铁一族”,其固定出行策略是由家出发乘地铁到达目的地,若5号线发生地铁运营中断事件,其出行行为将发生改变。

4.1 实际出行成本

设定乘客的出行距离为7 km。在事件发生后,假设乘客在家等待后去乘地铁时地铁已恢复全线运营,而其他出行行为的发生是建立在出发后地铁未恢复运营的基础上,同时在任何情形下地面交通都不会发生瘫痪。根据实地调查得到5种出行决策的实际出行成本和概率(见表1)。

表1 各出行决策的实际出行成本

Table 1 Actual travel costs for each travel decision-making

出行行为	概率/%	出行时间/min	出行费用/元
①	20	53	4
	80	72	2
②	30	41	6
	70	33	8
③	10	56	31
	90	42	35
④	40	73	5
	60	87	8
⑤	50	22	4
	50	28	6

4.2 各出行行为累积前景值计算

根据前文对各出行行为的分析,利用式(1)~(10),计算得到乘客出行目的不同的5种出行行为累积前景值,结果见表2。

表2 出行目的不同的出行行为累积前景值

Table 2 Cumulative prospect values of travel behaviors for different travel purposes

情形	可能的出行行为	累积前景值	
		通勤者	非通勤者
1	①	0.62	0.23
	②	1.47	0.38
	③	2.85	-0.41
	④	-5.93	-8.38
	⑤	0.28	0.94
2	①	0.17	0.05
	②	1.18	0.04
	③	1.92	0.17
	④	-6.31	-8.74
	⑤	-0.45	1.45
3	①	-0.54	-0.49
	②	0.35	-1.38
	③	0.72	0.84
	④	-1.98	-9.05
4	①	-0.83	-0.91
	③	3.71	1.25
	④	-7.26	-8.57
5	⑤	0.63	2.71
	①	-2.43	-3.07
	③	1.54	1.96
6	④	-7.83	-9.15
	⑤	-0.38	-1.83
	①	-3.16	-4.52
6	③	1.28	2.52
	④	-8.37	-10.73

注:概率表示在风险环境下实施某种出行决策时所花费的时间和费用出现的可能性。

由表 2 可以看出,在不同情形下各出行行为的累积前景值存在较大差异,乘客的出行决策随事件情形的不同而动态变化,其决策依据为出行行为的累积前景值最大,这符合累积前景理论中个人决策受风险敏感程度、个人风险认知、习惯偏好等影响的观点。

进一步分析发现,通勤者在各个情景下的累积前景值都大于非通勤者,说明出行目的是影响地铁乘客进行出行决策的重要因素;在事件情形比较恶劣的情况下,选择常规公交和网约车出行的累积前景值较大,表明常规公交和网约车在事件情形恶劣时备受乘客的青睐。

4.3 实际数据分析与验证

为验证乘客实际选择结果是否和本研究所建

表 3 部分调查数据的统计

Table 3 Statistics of partial survey data

项目	描述	人数	所占比例/%	
收入/ (元·月 ⁻¹)	<5 000	471	18	
	5 000~10 000	1 282	49	
	>10 000	863	33	
	公务员	105	4	
	职业	国企、私企	1 700	65
个人因素	职业	学生	471	18
	职业	自由职业	340	13
	是否经历过地铁运营中断事件	是	706	27
	是否经历过地铁运营中断事件	否	1 910	73
出行信息	方式、偏好或习惯	网约车	261	10
	方式、偏好或习惯	地铁	1 413	54
	方式、偏好或习惯	公交	497	19
	方式、偏好或习惯	小汽车	340	13
	方式、偏好或习惯	共享单车	105	4
事件发生后 的出行意向	目的	通勤	1 648	63
	目的	非通勤	968	37
	能接受的事件导致出行时长变长的时间/min	<30	1 464	56
	能接受的事件导致出行时长变长的时间/min	30~60	550	21
	能接受的事件导致出行时长变长的时间/min	60~90	314	12
是否改变原有 出行计划	是否改变原有出行计划	>90	288	11
	是否改变原有出行计划	是	1 805	69
	是否改变原有出行计划	否	811	31

模型的选择结果相吻合,本研究在设定事件情形后设计了完整的调查问卷,采用线上、线下相结合的调查方法采集数据,采集时间为 2019 年 4 月 9 日至 2019 年 7 月 12 日。经筛选获得每种情形 436 份问卷,共 2 616 份问卷,样本的部分数据如表 3 所示。经过整理,得到在 6 种情形下乘客的实际选择结果和理论结果的对比,如表 4 所示。

从表 4 可以看出,乘客的实际选择结果与 CPT 理论结果吻合良好,在 6 种情形中综合命中率均较高,表明 CPT 模型适用于分析在地铁运营中断影响下乘客的出行选择。

表 4 乘客出行选择结果对比

Table 4 Comparison of passenger travel options

情形	可能的出行行为	累积前景理论		实地调查		综合命中率/%	吻合度
		人数	比例/%	人数	比例/%		
1	①	37	8.5	41	9.6	84.1	好
	②	82	18.8	87	19.8		
	③	39	8.9	32	7.3		
	④	21	4.8	14	3.2		
	⑤	257	59.0	262	60.1		
2	①	89	20.4	83	19.1	79.6	较好
	②	147	33.7	149	34.2		
	③	67	15.4	72	16.5		
	④	21	4.8	25	5.7		
	⑤	112	25.7	107	24.5		
3	①	158	36.2	152	34.9	82.9	好
	②	108	24.8	103	23.6		
	③	130	29.8	142	32.6		
	④	40	9.2	39	8.9		
	⑤	263	60.3	285	65.4		
4	①	61	14.0	53	12.3	73.8	较好
	③	94	21.6	85	19.5		
	④	18	4.1	13	2.8		
	⑤	263	60.3	285	65.4		
	①	122	28.0	121	27.7		
5	③	137	31.4	139	31.9	91.7	很好
	④	41	9.4	44	10.1		
	⑤	136	31.2	132	30.3		
	①	208	47.7	215	49.3		
	③	169	38.9	163	37.4		
6	④	59	13.4	58	13.3	86.2	好

注:很好、好、较好反映了实际选择结果与理论结果的吻合度。

5 应对策略

当某地铁线路发生运营中断事件后,交管部门可采取以下措施,以防止引起更大的交通问题:

1) 合理提高地铁沿线地面公交的发车间隔,也可派出应急接驳公交来接运乘客到未影响区段继续乘坐地铁出行。增大发车频率可满足更多改乘公交乘客的出行需求,促使原计划地铁出行的乘客转乘公交,同时可派出接驳公交以满足部分乘客快速到达目的地的需求。

2) 保障地面交通的畅通性。交管部门要对事件影响地区实施有效的交通管理以保障常规公交的路权。该措施若能科学地实施,可有效地减少居民的出行时间,同时降低地铁线路周边发生交通拥堵的概率。

3) 在事件发生的第一时间向居民通报事件预计影响的时间,并实时更新地铁恢复运营的信息。由于事件情形会动态影响出行选择行为,通报预计影响时间能帮助居民基于准确、全面的信息进行行为决策。动态信息可使乘客及时调整出行策略,能很大程度上避免乘客因信息获取不全造成决策偏离最佳结果的问题。

4) 结合城市出租车实时监控系統,合理调配区域出租车,满足周边乘客的出行需求,同时也要增加网约车数量以保障改乘网约车乘客的出行。

5) 可开通定制公交或需求响应式公交为乘客服务,亦可让共享汽车公司及时派出更多的共享汽车给需要的乘客使用。

6 结论

基于累积前景理论对地铁运营中断后地铁乘客出行选择问题进行了研究。在进行出行行为建模前考虑了社交网络信息对出行决策的作用,划分了事件情形并分析各事件情形对出行的影响程度。以上海地铁5号线为例,采集实际数据对模型进行了验证。本研究重点关注运营中断事件对地铁沿线由家未出发乘客出行行为的影响,弥补了以往研究的不足,并得到如下结论:

1) 在获知运营中断事件发生后,乘客会综合多重因素调整决策,其决策依据是选择具有最大

累积前景值的出行行为。而CPT模型能较好地分析在地铁运营中断情形下乘客的出行选择。

2) 在不同情形下乘客的出行决策存在较大差异,当事件持续时长超过1.5 h且影响范围较大时,常规公交和网约车成为出行首选,出行目的是影响出行决策的重要因素。

3) 针对运营中断事件提出了应对策略。科学实施该策略不仅能保障周边乘客的出行需求,也能减少事件带来的负面效应,并为管理者制定应对突发事件的措施提供一定的参考。

本研究设定出行时间和费用为参考点,而设置参考点是影响累积前景值计算的重要步骤。现今居民对出行的舒适性、可靠性、安全性等提出了更高的要求,且乘客类型存在异质性。在未来的研究中,应更全面地设置参考点,考虑乘客的异质性以更好地刻画乘客的出行选择行为。

〔参考文献〕

- [1] 王佳冬,袁振洲,宁尚彬.城轨运营中断下应急公交车调度模型[J].交通运输系统工程与信息,2019,19(4):149-154,163.
WANG Jia-dong, YUAN Zhen-zhou, NING Shang-bin. Optimization model of emergency bus dispatching in response to operation disruption of urban rail transit[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19(4): 149-154, 163.
- [2] 尹浩东.运营中断条件下城市轨道交通乘客出行行为建模与客流诱导优化研究[D].北京:北京交通大学,2017.
YIN Hao-dong. Modeling passenger travel behavior and guidance optimization for disruption management in the urban rail transit network[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.
- [3] Pender B. Unplanned urban passenger rail disruption—new methods and perspectives on bus bridging[D]. Melbourne: Monash University, 2014.
- [4] 李伟,徐瑞华.突发事件下地铁网络乘客出行行为仿真模型[J].华东交通大学学报,2015(2):46-53.
LI Wei, XU Rui-hua. Simulation of passenger travel behaviors on urban rail transit in emergency [J]. Journal of East China Jiaotong University, 2015(2): 46-53.
- [5] Pnevmatikou A M, Karlaftis M G, Kepaptsoglou K.

- Metro service disruptions: how do people choose to travel? [J]. *Transportation*, 2015, 42(6): 933-949.
- [6] 许凯, 田晟, 朱泽坤. 短时事件下的地铁乘客路径选择行为研究[J]. *广西师范大学学报: 自然科学版*, 2019, 37(2): 9-14.
- XU Kai, TIAN Sheng, ZHU Ze-kun. Route selection behavior of subway passenger under short-term events[J]. *Journal of Guangxi Normal University: Nature Science Edition*, 2019, 37(2): 9-14.
- [7] Tversky A, Kahneman D. Advances in prospect theory-cumulative representation of uncertainty[J]. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1992, 5(4): 297-323.
- [8] 江红, 任新惠. 航班延误信息下旅客选择行为模型及实证[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2018, 18(4): 188-193, 208.
- JIANG Hong, REN Xin-hui. Model and empirical evidence of passenger selection behavior under flight delay information[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2018, 18(4): 188-193, 208.
- [9] 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): 1 778-1785.
- TIAN Li-jun, YANG Xi, HUANG Hai-jun, et al. The cumulative prospect theory-based travel mode choice model and its empirical verification[J]. *Systems Engineering Theory & Practice*, 2016, 36(7): 1 778-1 785.
- [10] 田丽君, 吕成锐, 黄文彬. 基于累积前景理论的合乘行为建模与研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2016, 36(6): 1 576-1 584.
- TIAN Li-jun, LYU Cheng-ru, HUANG Wen-bin. Modeling carpooling behavior based on cumulative prospect theory[J]. *Systems Engineering Theory & Practice*, 2016, 36(6): 1 576-1 584.
- [11] 徐爱庆, 陈欣, 朱金福. 基于累积前景理论的机场群旅客出行决策行为分析[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2018, 18(6): 14-21.
- XU Ai-qing, CHEN Xin, ZHU Jin-fu. Passengers travel choice in multiple airport system based on cumulative prospect theory[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2018, 18(6): 14-21.
- [12] 王灏, 李瑞敏, 刘志勇. 基于前景理论的机动车路内停车行为研究[J]. *交通信息与安全*, 2018, 36(6): 123-129.
- WANG Hao, LI Rui-min, LIU Zhi-yong. A study of on-street parking behavior based on prospect theory[J]. *Journal of Transport Information and Safety*, 2018, 36(6): 123-129.
- [13] Hackney J, Marchal F. A coupled multi-agent micro simulation of social interactions and transportation behavior[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2011, 45(4): 296-309.
- [14] 张兆泽, 黄海军. 社交网络信息对出行时刻选择行为的影响[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2017, 17(5): 22-28.
- ZHANG Zhao-ze, HUANG Hai-jun. Impacts of social network media on departure time choice behavior[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2017, 17(5): 22-28.
- [15] 刘天亮, 张冲, 王天歌, 等. 朋友圈信息交互对个体出行决策行为的影响研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2013, 13(6): 86-93.
- LIU Tian-liang, ZHANG Chong, WANG Tian-ge, et al. Effect of friends' information interaction on travel decision[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2013, 13(6): 86-93.