

有限理性下出行者方式选择行为

胡晓伟, 王 健, 孙广林

(哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 150090 哈尔滨, hxwhit@163.com)

摘 要: 为分析有限理性下出行者的方式选择行为, 将前景理论引入方式选择决策中, 分析不同时间价值出行者在私家车、公交车和出租车 3 种方式下的主观感知费用, 并研究出行者在广义出行费用下、出行时间概率分布变化下和时间约束 3 种情景下的方式选择行为。通过算例对比前景理论与期望效用理论对出行者方式选择行为描述的异同, 发现前景理论更依赖于决策权重函数的变化; 而在出行时间概率变化和时间约束下, 有车一族倾向于优先选择私家车出行。在不确定环境下, 前景理论更适用于分析居民出行方式选择行为的变化。

关键词: 有限理性; 前景理论; 时间价值; 方式选择; 期望效用函数

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2011)12-0114-05

Traveler's mode choice behavior analysis under bounded rational

HU Xiao-wei, WANG Jian, SUN Guang-lin

(School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, hxwhit@163.com)

Abstract: Aiming to analyze traveler's mode choice behavior under bounded rational, this paper introduced the prospect theory in the mode choice decision-making. First, the subjective perception cost of travelers with different time value on the three different transport modes, private car, bus and taxi, was analyzed, and the traveler's mode choice behavior was discussed under the traveler's generalized travel cost, the probability distribution of travel time changing and travel time constraints, respectively. Comparing the difference of numerical examples between prospect theory and expected utility theory, it indicated that the prospect theory is more dependent on the weighting function changes; and under the travel time probability changes and the time constraints, the car owners tend to choose private cars. The prospect theory is more applicable to analyze traveler's mode choice behavior under the uncertain environments.

Key words: bounded rational; prospect theory; value of time; mode choice; expected utility function

城市客运交通主要包括公交(公共汽车、地铁)、出租车、私人小汽车和摩托车等交通方式, 出行者根据自身的经济状况、对时间价值(VOT, value of time)和舒适程度的理解, 选择不同的出行方式完成起点到终点的出行^[1]。已有对出行者方式选择行为的研究^[2-4], 是建立在“期望效用理

论”的基础上, 即假设每位出行者都是追求期望效用最大化的理性决策者; 即使面临不确定事件时, 仍能通过确定其概率(主观概率或客观概率)而计算出期望值。但是现有成果缺乏对其不确定性情境下出行者决策的分析和研究, 不能很好地解释出行者方式选择在面临时间约束、费用约束等情况下的变化。Santos^[5]和欧国立^[6]提到的在出行行为上完全基于个人理性进行选择会导致交通运输问题和环境问题日益严重, 需要考虑到出行者行为决策时存在的不确定性。本文将“前景理论”引入出行者方式选择行为的研究中, 分析不确定环境下出行者在费用约束、时间约束情景下

收稿日期: 2010-10-23.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71073035);

新世纪优秀人才支持计划(NCET-10-0065).

作者简介: 胡晓伟(1984—), 男, 博士研究生;

王 健(1974—), 男, 教授, 博士生导师.

的方式选择行为,以反映出行者决策时的有限理性。

1 前景理论适用性

由于出行者实际行为与“期望效用理论”预见之间存在悖论,在“有限理性”理论基础上,Kahneman 等^[7]提出了“前景理论”(prospect theory),将心理学中的个体价值感受特点与理性的趋利性和现实中个体的决策行为相结合,可准确地描述不确定性条件下的个人决策行为。“前景理论”具有个体在面临“收益”时会规避风险、个体在面临“损失”时会追求风险、个体对“损失”的敏感性高于对“收益”的敏感性 3 个基本原理^[7-8]。出行者决策行为是在不同的交通环境下做出各自的判断与估计并做出选择,而交通环境中存在的不确定性使出行者的决策行为面临诸多不确定性环境,因此应用“前景理论”来描述不确定性条件下出行者的决策行为具有一定的适用性。目前已有学者将“前景理论”应用在出行者路径选择^[9]、通勤者出发时间选择^[10]以及交通网络建模中面对风险时的决策^[11]。

2 前景理论建模

根据“前景理论”的理论框架,出行者将按照在决策节点生成主观备选方式集,确定决策的“参照点”,主观估计选择某交通方式后可能的结果,判断各种结果的主观概率,用价值函数及决策权重函数计算各种方式的前景值,进而选择最大前景值的方式进行出行。

2.1 主观备选方式集的生成

本文考虑的是城市范围内中长距离的出行,故不选择步行及自行车的交通方式,主要研究公交、出租车和私家车 3 种交通方式。出行者首先需要从所有可用方式的集合中生成可供决策的备选方式集,然后计算出该集合中各种方式的前景值,比较之后选择出行方式。

当出行者到达某个决策节点时,决策时刻也随之确定。本文考虑 2 种情况:一是出行者货币费用约束,二是采用广义出行费用,由交通方式费用和出行时间共同决定。将不同交通方式的感知广义出行费用作为备选方式集生成的依据。

2.2 出行者对方式的主观感知费用

本文考虑不同时间价值的出行者方式选择,研究的出行者主要指出行具有严格的时间限制的上班族(通勤者),他们必须在工作开始时刻 t_w 之前到达目的节点,当早到或晚到时均会产生相应

的损失。出行者在出行过程中主要产生以下费用^[12]:1) 所选择交通方式的费用 U_j ,指从出行起点到出行终点由于采用交通工具不同所产生的费用,如公交票价、出租车票价和私家车停车费、燃油费。2) 出行时间费用 U_{tr} ,是指从出行起点到出行终点的行程时间产生的费用,包含途中采用某种交通方式的乘车时间和步行时间。3) 惩罚费用,是指出行者到达终点后由于没能按照预定时间到达目的节点而产生的惩罚费用,早到将产生惩罚费用 U_{ea} ,晚到将产生惩罚费用 U_{la} 。

假设出行者 t_o 时刻进入交通网络,此时决策节点为 o ,主观感知到达出行终点的时刻为 t_a ,工作要求必须到达时刻为 t_w 。当出行者感知 $t_a \leq t_w$ 时,此时早到,产生早到惩罚费用;当出行者感知 $t_a > t_w$,此时晚到,产生晚到惩罚费用。若出行者从某决策节点 o 出发到达终点的感知出行时间为 $\hat{t}_{tr}^o$,含途中采用某种交通方式的乘车时间和步行时间,则有

$$t_a = t_o + \hat{t}_{tr}^o. \quad (1)$$

出行者从决策节点 k 到达终点的过程中产生的广义出行费用为

$$U = U_j + U_{tr} + U_{ea} + U_{la} = U_j + \theta_{tr} \cdot \hat{t}_{tr}^o + \delta \cdot \theta_{ea} \cdot (t_w - t_a) + (1 - \delta) \cdot \theta_{la} \cdot (t_a - t_w). \quad (2)$$

其中: U_j 、 U_{tr} 、 U_{ea} 、 U_{la} 分别为某种交通方式费用、在途中的出行时间费用、早到惩罚费用、晚到惩罚费用。 θ_{tr} 、 θ_{ea} 、 θ_{la} 分别为在途中出行时间的单位时间成本、早到单位时间惩罚成本、晚到单位时间惩罚成本。Small 研究^[12]发现: $\theta_{la} > \theta_{tr} > \theta_{ea}$, δ 为 0 ~ 1 变量,如果 $t_a \leq t_w$,则 δ 为 1;如果 $t_a > t_w$,则 δ 为 0。

由上述分析可以得到,出行者在决策节点 o 的感知广义出行费用为

$$U = U_j + [\theta_{tr} - \delta \cdot \theta_{ea} + (1 - \delta) \cdot \theta_{la}] \cdot \hat{t}_{tr}^o + [\delta \cdot \theta_{ea} - (1 - \delta) \cdot \theta_{la}] \cdot (t_w - t_o). \quad (3)$$

2.3 参照点的选择

参照点的选取是前景理论的核心。出行者在进行决策时将对照参照点来衡量收益或损失。本文的参照点是出行者期望获得的费用。设出行者从决策节点 o 的出发时刻为 t_o ,期望到达终点的时刻为 t_{ex} ,则出行者从决策节点 o 到达出行终点的期望出行时间 $t_{ex}^o = t_{ex} - t_o$,在该阶段所期望的出行费用为 U_{ex}^o 。由式(3)可得出行者在决策节点 o 的出行期望费用为

$$U(t_{ex}^o) = U_j + [\theta_{tr} - \delta \cdot \theta_{ea} + (1 - \delta) \cdot \theta_{la}] \cdot t_{ex}^o + [\delta \cdot \theta_{ea} - (1 - \delta) \cdot \theta_{la}] \cdot (t_w - t_o). \quad (4)$$

$U(t_{ex}^o)$ 将成为出行者进行方式选择决策的参照点.若设出行者主观估计选择方式 j 到达终点的时刻为 $\hat{t}_j$,则估计出行时间 $\hat{t}_j^o = \hat{t}_j - t_o$. 由式(4)出行者的主观感知费用为

$$U(\hat{t}_j^o) = U_j + [\theta_{tr} - \delta \cdot \theta_{ea} + (1 - \delta) \cdot \theta_{la}] \cdot \hat{t}_j^o + [\delta \cdot \theta_{ea} - (1 - \delta) \cdot \theta_{la}] \cdot (t_w - t_o). \quad (5)$$

出行者将对各种备选方式进行编辑、评价,将各方式的主观感知费用 $U(\hat{t}_j^o)$ 与期望费用 $U(t_{ex}^o)$ 进行比较,以权衡得失.当 $U(\hat{t}_j^o) \leq U(t_{ex}^o)$ 时,此时出行者认为获得收益,反之, $U(\hat{t}_j^o) > U(t_{ex}^o)$ 时,出行者认为产生损失.

定义 x_o 表示出行者在决策阶段 o ,与参照点相比,主观估计选择方式 j 后的益损值,则

$$x_o = U(t_{ex}^o) - U(\hat{t}_j^o). \quad (6)$$
$$x_o = \begin{cases} (\theta_{tr} - \theta_{ea}) \cdot (t_{ex}^o - \hat{t}_j^o), & \hat{t}_j^o \leq t_{ex}^o, \quad x_o \geq 0; \\ (\theta_{tr} + \theta_{la}) \cdot (t_{ex}^o - \hat{t}_j^o), & \hat{t}_j^o > t_{ex}^o, \quad x_o < 0. \end{cases} \quad (7)$$

2.4 价值函数 $v(x)$

前景理论中的价值函数相当于“期望效用理论”中的效用函数^[13],出行者在决策阶段 o 的价值函数 $v(x_o)$ 定义为

$$v(x_o) = \begin{cases} x_o^\alpha, & x_o \geq 0; \\ -\lambda(-x_o)^\beta, & x_o < 0. \end{cases} \quad (8)$$

其中: α 为风险态度系数, $0 < \alpha < 1$, α 越大表示出行者越倾向于冒险; λ 为损失规避系数,若 $\lambda > 1$,则出行者将对损失更加敏感.文献[3] 标定 $\alpha = \beta = 0.88, \lambda = 2.25, v(x_o) = v(0) = 0^{[13]}$.

2.5 决策权重函数 $w(p)$

决策权重函数的形式^[13]为

$$w(p) = \begin{cases} w^+(p) = \frac{p^\gamma}{[p^\gamma + (1 - p)^\gamma]^{\frac{1}{\gamma}}}, & \text{收益时;} \\ w^-(p) = \frac{p^\chi}{[p^\chi + (1 - p)^\chi]^{\frac{1}{\chi}}}, & \text{损失时.} \end{cases} \quad (9)$$

文献[13]标定 $\gamma = 0.61, \chi = 0.69, w^+(0) = w^-(0) = 0, w^+(1) = w^-(1) = 1$.

2.6 备选方式的前景值 $V(f)$ 的计算

根据前景理论的定义, S 为状态集,代表出行者对各交通方式状态估计,它的一个子集称为事件代表某种可能的方式广义出行费用; X 为事件结果集,代表出行者估计选择某种交通方式后各种可能的结果,即可能的收益或损失, $x_i \in X$, $V(f)$ 为前景值函数.

在应用前景理论时,需要将各种可能的结果按增序排列来得到该结果的下标,即若 $i > l$, 应有 $x_i > x_l$,当下标为 0 时代表即无收益也无损失,即 $x_0 = 0$;当下标为正时,代表收益,即 $x_i > 0, i > 0$;当下标为负时,表示损失,即 $x_i < 0, i < 0$.

$f:S \rightarrow X$ 代表一个不确定的前景,可表示为 $\{(x_i, A_i)\}$, $x_i \in X, A_i \in S$,当事件 A_i 发生时产生结果 x_i . 对于 $f = (x_i, A_i)$, $-m \leq i \leq n$; 如果 $f(s) > 0, f^+(s) = f(s)$; 如果 $f(s) \leq 0, f^+(s) = 0$; m, n 分别表示事件结果为损失、收益时的前景数.

按照前景理论^[13],若 $f(x_i, A_i)$ 由一个概率分布 $p(A_i) = p_i$ 确定,则备选方式的前景值为

$$V(f) = V(f^+) + V(f^-) = \sum_{i=0}^n \pi_i^+(f^+)v(x_i) + \sum_{i=-m}^0 \pi_i^-(f^-)v(x_i). \quad (10)$$

其中: $\pi_i^+(f^+) = (\pi_0^+, \dots, \pi_n^+); \pi_i^-(f^-) = (\pi_{-m}^-, \dots, \pi_0^-)$. 则定义^[11, 13] 为

$$\pi_n^+ = w^+(p_n), \pi_{-m}^- = w^-(p_{-m}); \quad (11)$$

$$\pi_i^+ = w^+(p_i + \dots + p_n) - w^+(p_{i+1} + \dots + p_n), 0 \leq i \leq n - 1; \quad (12)$$

$$\pi_i^- = w^-(p_{-m} + \dots + p_i) - w^-(p_{-m} + \dots + p_{i-1}), 1 - m \leq i \leq 0. \quad (13)$$

3 不同情景下出行者方式选择行为算例分析

假设出行者起点与目的地之间距离为 8 km, 对不同收入的人群,其单位时间成本不同,表 1 为不同收入出行者参数设置,表 2 为出行者对不同交通方式的时间估计概率表.

表 1 不同收入出行者参数

出行者类别	是否有车	收入/ (元 · h ⁻¹)	晚到惩罚成本/ (元 · min ⁻¹)	出行时间成本/ (元 · min ⁻¹)	早到惩罚成本/ (元 · min ⁻¹)
低收入	否	12	0.25	0.20	0.15
中等收入	是	18	0.35	0.30	0.25
高收入	是	24	0.50	0.40	0.30

表 2 出行者对不同交通方式的时间估计概率

行程时间/min	时间估计概率			
	公交车	出租车	私家车①	私家车②
12	0	0.20	0.40	0.85
15	0.05	0.40	0.30	0.05
18	0.10	0.30	0.20	0.05
21	0.10	0.10	0.10	0.05
24	0.10	0	0	0
27	0.25	0	0	0
30	0.30	0	0	0
33	0.05	0	0	0
36	0.05	0	0	0

注:私家车①为情景分类 1 和情景分类 3 下时间估计概率;私家车②为情景分类 2 下时间估计概率。

根据梅洪常的研究^[14],2004 年—2006 年我国城镇居民消费支出结构中,低、中、高 3 层消费水平居民交通通信所占比例分别为 11.7%~13.0%、13.0%~14.4%、14.0%~15.4%。本文假设出行者的出行货币约束不超过自身每小时收

入的 120%。假设公交票价为 2 元/次,出租车为起步价+单位里程费率×(行驶里程-基准里程)=4+1.5×6=13 元,私家车为停车费+燃油费=10+8×1=18 元,结合表 1 可知低收入无车出行者将可以选择公交和出租车 2 种交通方式;中等收入和高收入有车出行者可以考虑公交、出租车和私家车 3 种交通方式。

假设出行者分别对不同方式的期望出行时间(包含了步行时间、等待时间和乘车时间)为公交 30 min,出租车 15 min,私家车 12 min。在此情况下计算不同收入阶层出行者在各种交通方式之间的决策。

3.1 情景分类

1)出行者广义出行费用下,参照点出行费用 $U(t_{ex}^o)$,由式(3)、(4) 计算得,出行者的主观感知费用 $\hat{U}_j^o$,由式(5)计算可得,分别根据“期望效用理论”和“前景理论”来计算不同阶层出行者对各种交通方式的期望效用值和前景值,计算结果如表 3 所示。

表 3 不同情景下出行者方式选择

情景分类	交通方式	期望效用值			前景值		
		低收入	中收入	高收入	低收入	中收入	高收入
出行广义成本费用下	公交	7.992 5	11.082 5	13.985 0	-0.490 7	-0.736 4	-0.903 0
	出租车	16.645 0	18.445 0	20.290 0	-1.256 2	-1.755 0	-2.312 0
	私家车	—	23.550 0	25.500 0	—	-2.528 3	-3.366 6
出行时间概率分布变化下	公交	7.992 5	11.082 5	13.985 0	-0.490 7	-0.736 4	-0.903 0
	出租车	16.645 0	18.445 0	20.290 0	-1.256 2	-1.755 0	-2.312 0
	私家车	—	22.185 0	23.610 0	—	-1.077 0	-1.434 7
出行时间约束下	公交	9.372 5	12.852 5	16.745 0	-9.635 6	-13.326 8	-17.733 2
	出租车	16.615 0	18.475 0	20.230 0	-0.392 9	-0.583 3	-0.723 0
	私家车	—	23.430 0	25.140 0	—	0.166 7	0.306 8

在不考虑出行者出行货币费用限制下,“期望效用理论”和“前景理论”的方式选择结果一致,即低收入出行者优先考虑采用公交,其次是出租车;中等收入和高收入出行者的方式选择顺序是公交、出租车和私家车。日常生活中,时间价值低的出行者会选择花费小而出行时间较长的交通方式,仅在特殊情况下(如时间不够、去医院等)才会选择出租车的交通方式;而时间价值高的出行者则对各种交通方式的票价(费用)关注较少,希望在较短的时间内到达目的地,实际中是有车一族会先选择私家车,再是公交之类,而不是选择花费较少出行时间却较长的公交方式。

2)出行时间概率分布变化下,根据式(10),

决策权重函数对前景值的影响较大,以下讨论决策权重函数变化下的各交通方式前景值,改变了的私家车行程时间概率分布,如表 2 中私家车②所示。在广义出行费用下的计算结果如表 3 所示,对比可见,根据“期望效用理论”各阶层出行者方式选择行为不发生变化。由于调整了时间分布概率,导致决策权重函数值的变化,进而使得出行者的方式选择结果也不同。其中低收入出行者方式选择顺序不变,而对于中等收入和高收入有车的出行者而言,私家车的前景值高于出租车的前景值,其方式选择顺序变化为公交、私家车和出租车,说明了“前景理论”计算中对行程时间概率的依赖性。

3)在有出行时间约束下,假设在 18 min 约束下无出行费用约束情况下,即广义出行费用下的计算结果如表 3 所示.此时可以发现“期望效用理论”的方式选择顺序不变,由于公交所花费的广义成本较小而被优先选择,这与实际中出行者选择时间短、费用高的出租车和私家车的方式选择相悖.而“前景理论”的计算结果则表明在时间紧迫时,出行者会选择时间短、费用高的出行方式.其中低收入出行者将首选出租车,其次为公交车;而中等收入和高收入有车的出行者则会按照私家车、出租车和公交车的顺序选择交通方式.这反映了采用广义出行费用情况下,“期望效用理论”的解释不符合实际,不能很好地处理所遇到的不确定风险问题.

4 结 论

1)采用前景理论研究了有限理性下出行者的方式选择行为,考虑了广义出行费用下、出行时间概率分布变化下和在有时间约束下 3 种情况,对比前景理论与期望效用理论下出行者方式选择行为的异同,发现在面临不确定环境下,前景理论更适用于分析居民出行方式选择行为.

2)由于前景理论考虑了出行者的预期费用和 risk 值,可以将其用来分析客运交通管理政策变化下出行者行为的变化,例如票价变化、拥挤收费、停车收费等政策的调整.

参考文献:

- [1] MOKHTARIAN P L, CHEN C. TTB or not TTB, that is the question: a review and analysis of the empirical literature on travel time (and money) budgets [J]. *Transportation Research Part A*, 2004, 38: 643-675.
- [2] DE PALMA A, ROCHAT D. Mode choices for trips to work in Geneva: an empirical analysis [J]. *Journal of Transport Geography*, 2000, 8: 43-51.
- [3] HENSHER D A. Empirical approaches to combining revealed and stated preference data: some recent developments with reference to urban mode choice [J]. *Research in Transportation Economics*, 2008, 23: 23-29.
- [4] 贾洪飞, 龚勃文, 宗芳. 交通方式选择的非集计模型及其应用[J]. *吉林大学学报:工学版*, 2007, 37(6): 1288-1293.
- [5] SANTOS G, BEHRENDT H, TEYTELBOYM A. Policy instruments for sustainable road transport [J]. *Research in Transportation Economics*, 2010, 28: 46-91.
- [6] 欧国立. 合作博弈、集体理性与城市交通效率[J]. *中国地质大学学报:社会科学版*, 2009, 9(1): 100-104.
- [7] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Prospect theory: an analysis of decisions under risk [J]. *Econometrica*, 1979, 47(2): 263-291.
- [8] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Judgment under uncertainty: heuristics and biases [J]. *Science*, 1974, 185(3): 1124-1131.
- [9] GAO S, FREJINGER E, BEN-AKIVA M. Adaptive route choices in risky traffic networks: a prospect theory approach [J]. *Transportation Research Part C*, 2010, 18(5): 727-740.
- [10] SENBIL M, KITAMURA R. Reference points in commuter departure time choice: a prospect theoretic test of alternative decision frames [J]. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2004, 8: 19-31.
- [11] AVINERI E. The effect of reference point on stochastic network equilibrium [J]. *Transportation Science*, 2006, 40(4): 409-420.
- [12] SMALL K A. The scheduling of consumer activities: work trips [J]. *American Economic Review*, 1982, 72(3): 467-479.
- [13] TVERSKY A, KAHNEMAN D. Advance in prospect theory: cumulative representation of uncertainty [J]. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1992, 5: 297-323.
- [14] 梅洪常. 国内居民消费总量与结构的优化研究[J]. *管理学报*, 2010, 7(1): 69-74.

(编辑 魏希柱)