

突发事件下机动车出行者路径选择行为

关宏志¹, 龙雪琴², 秦焕美³

(1. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100124; 2. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064;
3. 北京工业大学 城市交通学院, 北京 100124)

摘 要:为了研究出行者路径选择行为与信息发布的方式和出行者心理特性的关系,采用计算机仿真的方法,研究了突发事件下完全理性出行者和有限理性出行者的路径选择行为。首先提出了事故消散时间模型,对事故消散的流程进行了分析,建立了事故消散时间与进入路段的驾驶人流量之间的关系模型;然后对机动车出行者进行分类,将出行者分为完全理性出行者和有限理性出行者,提出了不同类型驾驶人路径选择的方法;进一步针对不同类型驾驶人,分析了出行者路径选择结果与进入路段的流量、出行者理性程度、非理性出行者的比例之间的关系。通过不断为出行者提供事故消散时间信息,研究不同时刻进入系统的驾驶人路径选择规律,直到事故消散。研究表明:信息发布更新越快,完全理性出行者所占比例越小,则事故消散时间也越短;事故消散时间与出行者对预测信息的依赖程度无关;理性出行者所占比例越大,事故道路上出现有限理性出行者所需的时间越长,道路上交通流变化幅度越小;道路恢复正常前,各路段的流量均经过较大幅度的变化。

关键词:交通工程;路径选择行为;突发事件;有限理性;信息发布

中图分类号:U491

文献标志码:A

Drivers' route-choice behavior under emergency

GUAN Hong-zhi¹, LONG Xue-qin², QIN Huan-mei³

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;
2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. College of Metropolitan Transportation, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: In order to analyze the relationship between drivers' route-choice behavior and information providing approach and psychological characteristics of drivers, simulation method was adopted to study the route-choice behavior of completed rational drivers and boundedly rational drivers under emergency. First, model of accident dissipation time was proposed, the progress of accident dissipation was analyzed, and the relationship model of accident dissipation time and drivers number flowing into the road was established. Then, drivers were classified into completely rational drivers and boundedly rational drivers, and route-choice methods for different drivers were proposed. Aimed at different types of drivers, the relationship between drivers' route-choice and traffic volume, rational degree, proportion of boundedly rational drivers were analyzed. Through providing accident dissipation time information, principle of drivers' route-choice in different time was studied until the influence of accident was completely cleared. The

results show that accident dissipation time is shorter when information announcing speed is faster and proportion of completed rational drivers is smaller. Accident dissipation time has no relationship with the dependence of drivers on the forecast information. The greater proportion of rational drivers, the longer the time that boundedly rational drivers emerge on the road, and the smaller the change degree of traffic flow. Before the road returns to normal state, traffic volume of each road has been greatly changed. 1 tab, 9 figs, 20 refs.

Key words: traffic engineering; route-choice behavior; emergency; boundedly rational; information announcing

0 引言

随着交通量的增加,道路突发事件时有发生。由于突发事件发生占用行车道,道路通行能力急剧下降,不仅会引起大面积的交通拥堵,增加出行延误,同时有可能引发二次事故,因此,研究突发事件下出行者的路径选择行为,不仅可以更加深入理解出行者的心理动态变化过程,同时也为制定应急管理措施提供依据,最大程度地提高路网的利用率。针对突发事件,Koo 等研究了主干路上发生交通事故时驾驶人的行为变化,发现即使驾驶人事先知道途经道路的交通状况,70%的出行者仍然选择按照原计划出发时刻和路径出行^[1];Jou 等通过调查发现,当出行时间在一定范围内时,驾驶人不会更改其路径^[2];Knoop 等发现出行者可以通过事故信息自行更新出行时间,但是存在过高或过低估计出行时间的情况^[3-4];Knoop 等进一步研究了高速公路上发生交通事故后出行者行为,结论与 Koo 和 Yim 类似,即驾驶人不会轻易改变出行路径,只有当主线上交通流增加到一定程度时,出行者才改变路径^[5]。以上研究表明,驾驶人的可接受时间存在一定的弹性。

对于突发事件,研究关注的重点仍集中在可变信息板(variable message signs,VMS)上。Erke 等研究了 VMS 的位置、提示的信息与出行行为的关系,结果显示约 1/5 的车根据提示信息改变了原有路径^[6-7];Ma 等设计了调查问卷,建立了多项 Logit 模型,分析了出行者个人和家庭、社会属性等因素与出行行为之间的关系^[8]。

自从 Simon 提出了有限理性的概念之后,越来越多的学者开始关注出行者的非理性,并采用前景理论和累计前景理论对出行者行为进行了大量的研究^[9-11]。Wang 等采用累计前景理论和期望效用理论,研究了出行者在面对风险情况下的逐日路径选

择行为,发现累计前景理论比期望效用理论更符合出行者的实际出行行为^[12-13]。

近年来,学习模型得到了较多的重视,学者开始关注出行者的逐日动态路径选择行为,通过建立动态模型揭示出行者行为演变^[14-15]。还有学者从不确定性角度,分析了出行者对不确定的认知更新及其对出行行为的影响^[16-18]。

尽管上述研究表明出行过程存在不确定性,出行者并不都是完全理性的,但是目前关于突发事件期间出行者行为选择的研究中,更多地关注了出行者最终的路径选择结果;并未考虑出行者理性程度,未将 VMS 的信息发布与微观出行行为联系起来。为了进一步揭示出行者行为演化过程,本文以突发交通事故为例,考虑出行者的有限理性,以单个出行个体为对象,研究在整个事故消散过程中,信息发布形式、出行者的理性程度对路径选择行为的影响。

1 交通事故消散模型

图 1 为事故消散过程,事故发生时刻为原点。事故发生后, t 时刻交通量以 $q(t)$ 进入到事故道路,此时由于交通事故导致部分车道封闭,道路通行能力降为 $c'(t)$;交通事故处理后,道路通行能力恢复到正常 $c(t)$ 。假设交通事故持续时间为 d ,事故消散时间为 r , t 时刻的排队长度 $q_u(t)$ 为

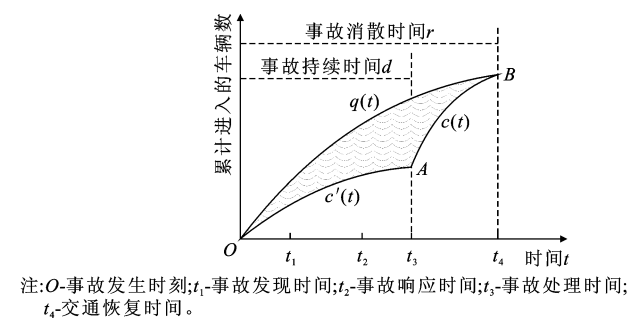


图 1 事故消散示意

Fig. 1 Accident dissipating diagram

$$q_u(t)=\begin{cases} \int_0^t q(t)dt-\int_0^t c'(t)dt & t\leq d \\ \int_0^t q(t)dt-\int_0^d c'(t)dt-\int_d^r c(t)dt & t>d \end{cases} \quad (1)$$

车辆总延误 D_e 为图 1 中阴影部分面积

$$D_e=\frac{1}{2}[r\int_0^r q(t)dt-d\int_0^d c'(t)dt-(r-d)(\int_0^d c'(t)dt+\int_0^r q(t)dt)]=\frac{1}{2}[d\int_0^r q(t)dt-r\int_0^d c'(t)dt] \quad (2)$$

当 $q(t)$ 和 $c(t)$ 均为定值且 $q(t)=q, c(t)=c$ 时

$$q_u=\begin{cases} (q-c')t & t\leq d \\ qt-dc'-(t-d)c & t>d \end{cases}$$
$$D_e=\frac{1}{2}(q-c')dr.$$

如图 1 所示,交通事故随时间变化可分为 4 个阶段:事故发现阶段,事故响应阶段(即救援到达),事故处理(即清理)阶段和交通恢复阶段, t_i 分别表示事故每阶段所花费的时间。

事故发现时间 t_1 取决于多种因素,包括当事人和所涉及人员的受伤程度、道路上其他交通参与者的反应能力、道路紧急救援设施的完备性等, t_1 可理解为定值。事故响应时间 t_2 为救援车辆从事故响应后从起点出发,到达事故地点需要花费的时间。 t_2 与事故被发现前,道路上已有的交通量有关。事故处理时间 t_3 与事故的类型和严重程度有关,可理解为定值。事故恢复阶段,由于事故已经被清理,通行能力恢复。 t_1 和 t_3 可根据交通事故的类型、严重程度及事故响应能力来确定。

那么交通事故持续时间 $d=t_1+t_2+t_3$,交通事故消散时间 $r=t_1+t_2+t_3+t_4$ 。

2 场景假设

本文仅研究机动车驾驶人的路径选择行为,下述出行者均指机动车出行者。

假设事故上游交叉口处设置有可变信息板 VMS, VMS 与事故点之间的间距为 L_1 , 事故点与下一出口距离为 L_2 。在事故被发现前,无法得知交通事故信息,因此 $0\sim t_1$ 时间范围内,交通流仍按照原来的流率进入。事故被发现后 t_1 时刻, VMS 第 1 次告知出行者交通事故信息,预测并发布事故消散还需的时间 r 。此后以 Δt 的时间间隔持续更新并发布事故消散时间,在下一个 Δt 的时间间隔进入的出行者根据上一次信息发布的时间进行路径选择,

即从 t_1 时刻开始,第 k 个时间间隔进入的出行者按照第 k 次发布的信息选择路径。

定义发生事故的路段为 a ,事故发生后通行能力降为 c' ,正常道路通行能力为 c_a 。事故发生前,道路上交通流有序稳定地运行,通过道路沿线监控设备得知道路上的车头间距为 h_d 。假设在 t_1 时刻,救援车辆到达 VMS 处,则 VMS 与事故点之间的道路上已有交通量为 $q_{a,c}=1\ 000L_1/h_d$, t_1 时间内进入到事故路段的交通量为 $q_a^0t_1$,驶出的交通量为 $c't_1$,那么救援车辆到达事故点所需时间 t_2 为

$$t_2=\frac{q_{a,c}+q_a^0t_1-c't_1}{c'}=\frac{1\ 000L_1/h_d+q_a^0t_1-c't_1}{c'} \quad (3)$$

式中: q_a^0 为事故道路初始的交通流率。

初始时刻,所有出行者路径选择遵守效用最大化原理,以路径的自由流出行时间作为其负效用。那么事故持续时间 d 为

$$d=t_1+\frac{1\ 000L_1/h_d+q_a^0t_1-c't_1}{c'}+t_3 \quad (4)$$

$k=1$ 时,即 VMS 第 1 次发布的事故消散时间 r_a^1 ,为 L_1 路段内所有车辆排队为 0 的时间。在 $0\sim r$ 阶段内,进入到事故路段的交通量为 q_a^0r ,排队长度为 $q_a^0r-dc'-(r-d)c_a=0$,则 $r_a^1=\frac{d(c_a-c')}{c_a-q_a^0}$ 。

Knoop 等通过实际调查得到了当发生交通事故时通行能力下降的规律^[19];美国 FHWA《交通控制系统手册》中给出了不同类型紧急事件下,道路有效通行能力系数,见表 1^[20]。城市道路不涉及大型货车,因此交通事故占用车道数量一般均为 1。

表 1 道路通行能力系数
Tab. 1 Road capacity coefficient

单方向车道数量	堵塞的车道数量		
	1	2	3
2	0.35	0.00	
3	0.49	0.17	0.00
4	0.58	0.25	0.13

3 出行者路径选择

按照效用最大化理论,决策者总是选择效用最大的方案。但是,在实际复杂情况下,并不是所有的决策者都遵循效用最大化原则,因此存在非理性决策者。本文按照出行者对出行时间的判断和接受能力,将出行者分为有限理性出行者和完全理性出行者。

假设道路上完全理性出行者比例为 φ ,第 k 个时间间隔进入所有路径的流量总和 q_k^z 服从均值为 m 的泊松分布,那么完全理性出行者人数为 $q_k^z\varphi$,有

限理性出行者人数为 $q_z^k(1-\varphi)$ 。完全理性出行者比例 φ 可通过设计调查问卷获得。

(1)有限理性出行者。通过判断 VMS 提示的出行时间与自己理解时间的差值,结合对出行延误的接受能力大小,进行路径选择。当某条路径两者的差值超过自己对出行时间的承受能力时,出行者改变路径;否则不改变路径。有限理性出行者对出行时间的接受具有一定的弹性,具有较强的忍耐能力。定义

$$\eta = \begin{cases} 1 & t_a^k - t_{i,a}^k \leq \lambda_i t_{i,a}^k, \lambda_i > 0 \\ 0 & t_a^k - t_{i,a}^k > \lambda_i t_{i,a}^k, \lambda_i > 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中: η 为二元变量;1 表示不改变路径(即仍选择事故发生道路);0 表示改变路径(即选择其他道路); t_a^k 为第 k 个时间间隔内根据 VMS 预测的事故消散时间推断的事故路径 a 的实际行驶时间; $t_{i,a}^k$ 为第 k 个时间间隔内出行者对事故路径的感知时间; λ_i 为参数,表示出行者对延误的接受能力, λ_i 越大说明出行者 i 越能忍受较大延误,属于保守型驾驶人。

假设出行者忍耐能力 λ_i 服从 $U(a, b)$ 的均匀分布, $a > 0, b < 1$, 可涵盖不同理性程度驾驶人的路径选择行为。当 $\lambda_i = 0$, 此出行者为完全理性驾驶人。

①第 k 个时间间隔内,事故路段 a 的实际行驶时间 t_a^k 为事故消散时间和畅行通过事故点并驶出路段终点的时间之和。

VMS 第 $k(k > 1)$ 次发布 r_a^k, r_a^k 表示从 $\Delta t(k-1)$ 时刻起,交通事故仍需的消散时间。排队长度为

$$q_u(k) = q_a^0 t_1 + \sum_{n=1}^{k-1} q_a^n \Delta t + q^{k-1} r_a^k - dc' - (r_a^k + \Delta t(k-1) - d) c_a$$

$$r_a^k = \frac{q_a^0 t_1 + \sum_{n=1}^{k-1} q_a^n \Delta t - dc' + [d - \Delta t(k-1)] c_a}{c_a - q_a^{k-1}}$$

式中: q_a^n 为第 n 个时间间隔进入到事故路径 a 的流量。

由此看出,只有当 $c_a > q_a^{k-1}$ 时,排队才可能消散,系统才是稳定的。

$$\text{当 } k=1, t_a^k = \frac{1\,000/h_d(L_1+L_2)}{c_a} + r_a^k;$$

$$\text{当 } (k-1)\Delta t \leq d \text{ 时, } t_a^k = [q_a^0 t_1 + \sum_{j=1}^{k-1} q_a^j \Delta t + 1\,000/h_d(L_1+L_2) - c'(\Delta t(k-1) + t_1)]/c_a + r_a^k.$$

$$\text{当 } (k-1)\Delta t > d \text{ 时,说明事故已被清理,通行能力恢复,则 } t_a^k = [q_a^0 t_1 + \sum_{j=1}^{k-1} q_a^j \Delta t + 1\,000/h_d(L_1+L_2) - (d+t_1)c' - c_a((k-1)\Delta t - d)]/c_a + r_a^k.$$

②出行者对路径的感知时间 $t_{i,j}^k$ 与道路上的交通量有关,且出行者仅能获取上 1 个时间间隔流入

路径 j 的流量。则

$$t_{i,j}^k = \begin{cases} t_{0,a}[1+0.15(q_a^{k-1}/c_a)^4] & j=a \\ t_{0,j}[1+0.15((q_z^{k-1}-q_a^{k-1})/c_j)^4] & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中: c_j 为道路 j 的通行能力; $t_{0,a}$ 、 $t_{0,j}$ 分别为事故路径 a 和路径 j 的自由流时间。

对于有限理性驾驶人,每个时间间隔按照上述路径选择模型,将有限理性出行者 $q_z^k(1-\varphi)$ 分配到各路径上,得到路径 j 的流量为 q_j^k 。

(2)完全理性出行者。按照效用最大化进行路径选择,始终选择效用最大(即出行时间最小)的路径。第 k 个时间间隔进入的出行者 i 选择路径 j 的概率 $P(k, i, j)$ 为

$$P(k, i, j) = \frac{e^{U_{i,j}^k}}{\sum_{m=1}^n e^{U_{i,m}^k}} \quad (7)$$

式中: θ 为参数, θ 越小,说明驾驶人随机选择性越强; $U_{i,j}^k$ 为第 k 个时间间隔进入的出行者 i 对路径 j 的感知效用,一般以出行时间作为负效用。

对于发生突发事件的道路,出行者此时接受了 VMS 的预测时间,同时保留有自身的感知出行时间,以这 2 种时间的加权值作为路径的负效用;而其他道路则以出行者感知时间作为路径的负效用。则

$$U_{i,j}^k = \begin{cases} -[\mu t_{i,a}^k + (1-\mu), t_a^k] & j=a \\ -t_{i,j}^k & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

式中: μ 为参数。

μ 越小说明出行者越依赖于 VMS 预测时间,否则更相信自己的判断。

从 t_1 开始,每隔 Δt 时间 VMS 根据上一时间间隔进入各路径的流量更新事故消散时间,并向出行者发布。经过不断反馈,直至事故全部消散完,交通恢复正常后各条路径流量不变。

4 数值试验

4.1 场景假设

路径 1 和路径 2 是 OD 点对间的 2 条不同路径。假设任意时间间隔进入所有路径的流量总和为 Q_z , 且服从均值 $m=3\,000$ pcu/h 的泊松分布。路径 1 和路径 2 的流量分别为 q_a 和 q_2 。正常情况下,路径 1 和路径 2 的通行能力 $c_a=c_2=1\,800$ pcu/h。路径 1 上发生一起两车相撞事故,占用 1 条车道, $L_1=1.5$ km, $L_2=2$ km, $L_3=4$ km。设事故发生时间 $t_1=5$ min,事故处理时间 $t_3=8$ min,事故发生后事故点上游车辆车头间距 $h_d=20$ m,路径 1 和路径 2 的自由流时间分别为 $t_{0,a}=0.11$ h, $t_{0,2}=0.13$ h。假设出行者对风险

的接受程度 $\lambda \sim U(0.1, 0.8)$, 通过产生随机数种子, 确定每个出行者的 λ_i 。场景假设如图 2 所示。

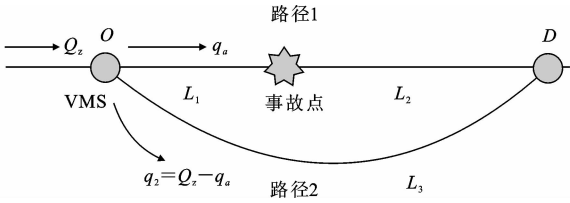


图 2 场景假设
Fig. 2 Scene hypothesis

4.2 结果分析

(1) 假设 VMS 发布事故信息的间隔 $\Delta t = 2 \text{ min}$, 完全理性出行者比例 $\varphi = 0.7$, 感知出行时间参数 $\mu = 0.4$ 。出行者路径选择情况如图 3、图 4 所示。

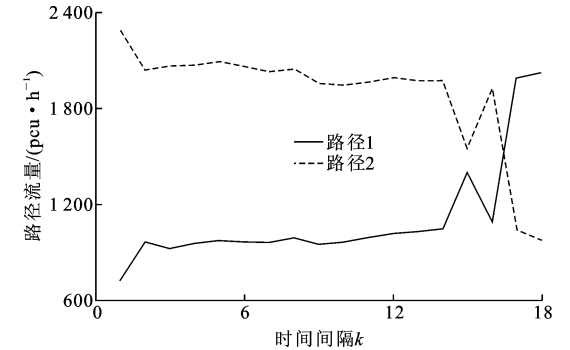


图 3 $\Delta t = 2, \varphi = 0.7, \mu = 0.4$ 时路径流量变化
Fig. 3 Evolution of routes' flow under $\Delta t = 2, \varphi = 0.7, \mu = 0.4$

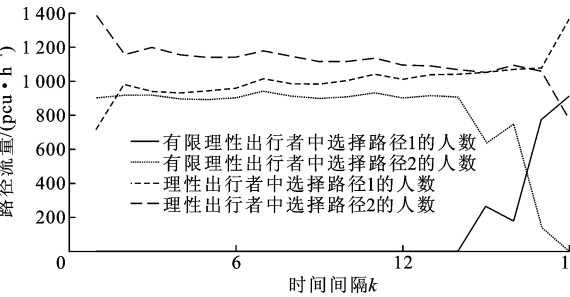


图 4 $\Delta t = 2, \varphi = 0.7, \mu = 0.4$ 时出行者路径选择
Fig. 4 Route-choice under $\Delta t = 2, \varphi = 0.7, \mu = 0.4$

VMS 第 1 次发布事故信息时, 路径 1 的事故消散时间长, 大多出行者选择路径 2, 因此 $k = 1$ 时, 路径 1 的流量非常小; 随后, 由于路径 1 的流量减少, 事故消散时间也随之降低, 选择路径 1 的出行者逐渐增加; $k = 16$ 时, 由于上一阶段路径 1 的流量激增, 导致路径 1 的出行时间增加, 因此路径 1 的流量明显降低; 反之, $k = 17$ 时路径 1 的流量增加; $k = 18$ 时, 事故全部消散, 路径 1 恢复正常运行, 整个事故阶段持续 36 min。

从图 4 可以看出, $k \leq 14$ 时, 有限理性出行者中, 选择路径 1 的人数为 0, 说明路径 1 的事故消散时间

大于所有出行者的感知出行时间, 有限理性出行者均选择路径 2, 路径 2 的流量稳定在 900 pcu/h 左右。对于理性出行者, 当 $k \geq 2$ 时, 选择路径 1 的理性出行者逐渐增加。此时, 尽管路径 1 的流量增加, 感知出行时间随之增加, 事故消散时间逐渐减少, 但是由于感知出行时间所占比重较小 ($\mu = 0.4$), 因此路径 1 的效用增加, 则选择路径 1 的理性出行者增加。

(2) $\varphi = 0.7, \mu = 0.4$, 信息发布间隔 Δt 取不同值时出行者路径选择结果如图 5 所示。

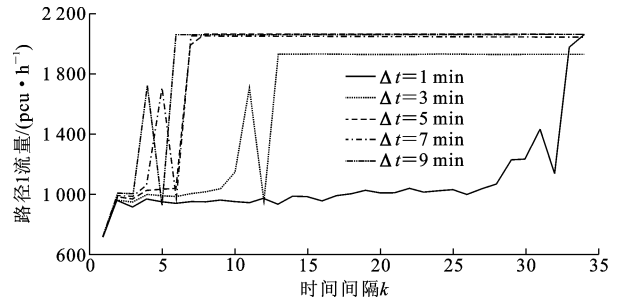


图 5 $\varphi = 0.7, \mu = 0.4$ 时路径流量变化
Fig. 5 Flow evolution of route under $\varphi = 0.7, \mu = 0.4$

① Δt 不同时, 事故消散时间也不同。随着 Δt 的增大, 事故消散所需时间也逐渐增加, 当 $\Delta t = 9 \text{ min}$ 时, 路径 1 恢复正常所需的时间为 54 min。由此说明, 发生事故后 VMS 应该立即响应, 并尽量缩短信息更新的时间间隔, 有助于快速消散交通事故所带来的影响。

② 无论 Δt 如何取值, 最终事故消散后, 路径 1 所承担的流量都集中在 2 000 pcu/h 左右。

③ 综合图 3、图 4, 在恢复正常运行状态前, 路径流量均有较大幅度的波动。

(3) $\Delta t = 2 \text{ min}, \mu = 0.4$, 理性出行者所占比例不同时, 出行者路径选择结果如图 6、下页图 7 所示。

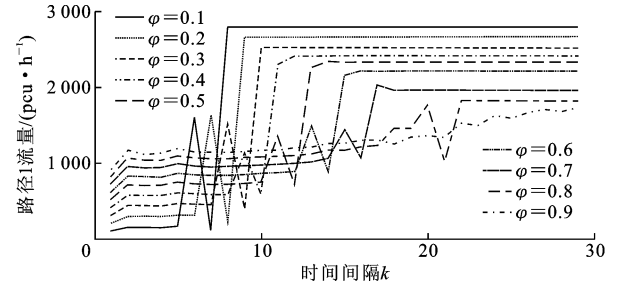


图 6 $\Delta t = 2 \text{ min}, \mu = 0.4$ 时路径流量变化
Fig. 6 Flow evolution of route under $\Delta t = 2 \text{ min}, \mu = 0.4$

从图 6 可以看出:
① φ 越大时, 事故完全消散所需的时间越长。由图 4 可知, 路径 1 的出行者以理性出行者为主, 说明出行者对路径 1 的估计出行时间较短; 而当 φ 越

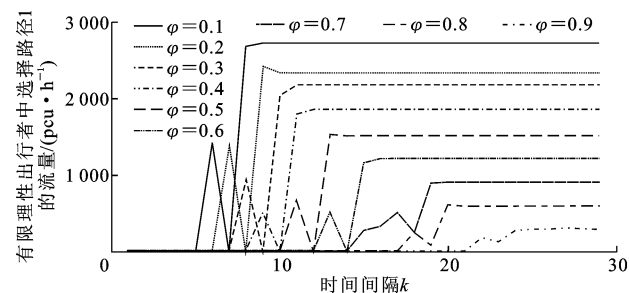


图 7 $\Delta t=2 \text{ min}, \mu=0.4$ 时有限理性出行者路径选择

Fig. 7 Route-choice of boundedly rational drivers

under $\Delta t=2 \text{ min}, \mu=0.4$

大时,选择路径 1 的理性出行者越多,路径 1 的流量增加,事故消散时间增加。其主要原因在于没有有效的路径诱导措施,出行者仍选择事故路径,因此事故消散时间长。

②在事故发生的前期($k \leq 5$), φ 越大,路径 1 的流量越大;而当事故完全消散,道路恢复正常后, φ 越大时,路径 1 的流量反而越小。事故发生前期,进入路径 1 的流量主要是理性出行者,因此 φ 越小,路径 1 的流量越小。事故被清除后,对所有出行者而言, $t_a - t_{i,a} \leq 0$,所有的有限理性出行者均选择路径 1,因此 φ 越小,路径 1 流量越大。

③ φ 越大时,在事故被清理的整个过程中,路径 1 的流量变化幅度越小,基本呈稳定增加趋势;而 φ 越小时,路径 1 的流量变化幅度越大,存在剧烈波动并急剧增长的过程。当 φ 越大时,理性出行者占绝大比例,因此进入路径 1 的出行者也以理性出行者为主;理性出行者主要通过比较 2 条路径的效用(通过出行时间来衡量),而 2 条路径的效用相差较小,且不存在较大幅度的变化,因此路径 1 的流量变化幅度较小。

从图 7 可以看出:

①道路恢复正常运行后,随着 φ 的增大,有限理性出行者中选择路径 1 的人数减少。

② φ 值越大,路径 1 上出现有限理性出行者所需的时间越长。当 $\varphi=0.1, k=6$ 时,路径 1 上开始出现有限理性出行者;当 $\varphi=0.9, k=21$ 时,路径 1 上开始出现有限理性出行者。 φ 值越大,理性出行者越多,事故前期选择路径 1 的人数越多,导致出行者根据 VMS 预告推算的实际出行时间总是比感知出行时间大,没有有限理性出行者选择路径 1。

(4) $\Delta t=2 \text{ min}, \varphi=0.7, \mu$ 取不同值时出行者路径选择如图 8、图 9 所示。

在事故的整个消散阶段,不同 μ 值下对应的路径 1 的流量均无较大差异。因为 μ 值主要影响路径 1 的效用,根据式(7)可知,不同时刻路径 1 的选择

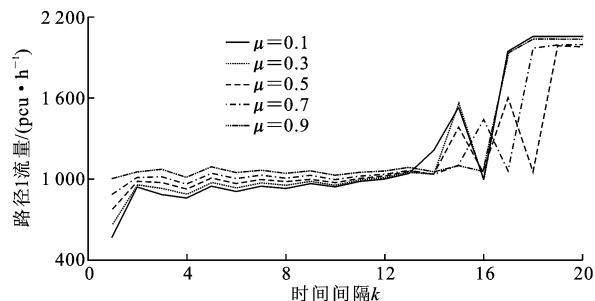


图 8 $\Delta t=2 \text{ min}, \varphi=0.7$ 时路径流量变化

Fig. 8 Flow evolution of route under $\Delta t=2 \text{ min}, \varphi=0.7$

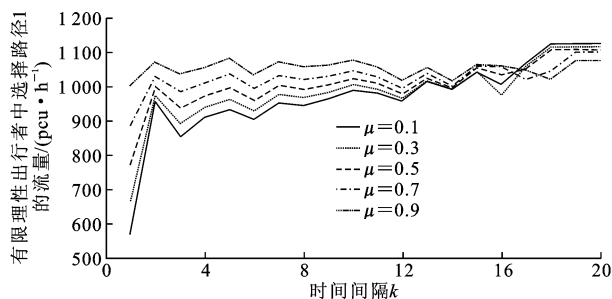


图 9 $\Delta t=2 \text{ min}, \varphi=0.7$ 时有限理性出行者路径选择

Fig. 9 Route-choice of boundedly rational drivers

under $\Delta t=2 \text{ min}, \varphi=0.7$

概率并无较大差别。

事故发生前期,进入路径 1 的出行者主要为理性出行者。路径 1 的效用主要取决于 t_a, μ 值越小,其理性出行时间越大,因此路径 1 的流量也越小。事故被清除后, $t_a=0, \mu$ 值越小,路径 1 的效用越大,因此其流量也越大。

由图 8 可知,事故前期 μ 值越小,路径 1 的流量越小,对每个出行者而言,路径 1 的 $t_{i,a}$ 也越小,根据式(5)可知,路径 1 的 t_a 在大部分有限理性出行者的接受能力之外,因此路径 1 的有限理性出行者数量越少。

如图 9 所示,对于有限理性出行者, μ 值对事故前期出行者路径选择行为影响较大,而事故被清除后,对应不同 μ 值下,路径 1 上有限理性出行者数量几乎无差异。

5 结 语

(1)事故消散时间与信息发布时间间隔 Δt 和完全理性出行者比例 φ 有关。信息发布更新越快,完全理性出行者所占比例越小,则事故消散时间也越短;事故消散时间与出行者对 VMS 预测信息的依赖程度 μ 无关。

(2)理性出行者所占比例越大,事故道路上出现有限理性出行者所需的时间越长;道路上交通流变化幅度越小,即系统更稳定。

(3)交通事故消散,道路恢复正常前,各路段的流量均经过较大幅度的变化。

(4)根据研究结论,应缩短信息发布的时间间隔;同时发生事故后,应尽快发布交通诱导措施,引导出行者选择其他路径,可在较短时间内消散事故。

(5)本文并未对出行者非理性程度展开具体定量化的研究,下一步将结合理性的含义,从影响出行者行为的生理和心理角度,提出非理性程度的量化标准和方法,进一步针对不同理性程度的出行者进行行为分析。

参考文献:

References:

- [1] KOO R, YIM Y. Commuter response to traffic information on an incident[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1998(1621):36-42.
- [2] JOU R C, LAM S H, LIU Y H, et al. Route switching behavior on freeways with the provision of different types of real-time traffic information[J]. Transportation Research Part A, 2005, 39(5):445-461.
- [3] KNOOP V L. Road incidents and network dynamics effects on driving behaviour and traffic congestion [D]. Delft: TRAIL Research School, 2009.
- [4] KUSKABE T, SHARYO T, ASAKURA Y. Effects of traffic incident information on drivers' route choice behaviour in urban expressway network[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012, 54:179-188.
- [5] KNOOP V L, HOOGENDOORN S P, VAN ZUYLEN H. Rerouting behaviour of travellers under exceptional traffic conditions-an empirical analysis of route choice [J]. Procedia Engineering, 2010, 3:113-128.
- [6] ERKE A, SAGBERG F, HAGMAN R. Effects of route guidance variable message signs (VMS) on driver behaviour[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2007, 10(6):447-457.
- [7] GUATTARI C, BLASIS M R D, CALVI A. The effectiveness of variable message signs information; a driving simulation study[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012, 53:692-702.
- [8] MA Z L, SHAO C F, SONG Y, et al. Driver response to information provided by variable message signs in Beijing[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2014, 26:199-209.
- [9] SIMON H A. A behavioral model of rational choice [J]. Quarterly Journal of Economics, 1955, 69(1):99-118.
- [10] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Prospect theory: an analysis of decisions under risk[J]. Econometrica, 1979, 71(4):263-291.
- [11] TVERSKY A, KAHNEMAN D. Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty[J]. Journal of Risk and Uncertainty, 1992, 5(4):297-323.
- [12] WANG G C, MA S F, JIA N. A combined framework for modeling the evolution of traveler route choice under risk[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 35:156-179.
- [13] GAO S, FREJINGER E, BEN-AKIVA M. Adaptive route choices in risky traffic networks: a prospect theory approach[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2010, 18(5):727-740.
- [14] HE X Z, LIU H X. Modeling the day-to-day traffic evolution process after an unexpected network disruption[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2012, 46(1):50-71.
- [15] WU J J, SUN H J, WANG D Z W, et al. Bounded-rationality based day-to-day evolution model for travel behavior analysis of urban railway network [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 31:73-82.
- [16] DE PALMA A, PICARD N. Route choice decision under travel time uncertainty[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2005, 39(4):295-324.
- [17] 张 杨. 不确定性对城市交通出行者路径选择的影响[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(5):77-80.
ZHANG Yang. Impact of uncertainty on traveler route choice in urban traffic[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10(5):77-80. (in Chinese)
- [18] 范文博, 李志纯, 蒋葛夫. 基于参考依赖法的出行者日常路径选择行为建模[J]. 交通运输工程学报, 2009, 9(1):96-99.
FAN Wen-bo, LI Zhi-chun, JIANG Ge-fu. Modeling of commuters' day-to-day route choice behaviors based on reference-dependent approach[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2009, 9(1):96-99. (in Chinese)
- [19] KNOOP V L, HOOGENDOORN S P, ZUYLEN H J. Capacity reduction at incidents: empirical data collected from a helicopter[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2008(2071):19-25.
- [20] QIN L, SMITH B L. Characterization of accident capacity reduction [R]. Charlottesville: University of Virginia, 2001.