

实时交通信息诱导下的出行模式及效益评价^①

张小宁

(同济大学经济与管理学院, 上海 200092)

摘要: 以往针对交通出行信息系统的研究主要集中在静态交通网络上, 而很少研究实时出行信息诱导下驾驶员的动态行为反应. 该文研究交通信息诱导下驾驶员的动态行为反应和交通网络上的非均衡交通演化, 并在此基础上评价了出行信息系统的效益. 首先建立了3种情况下的交通出行行为: 正常交通情况下驾驶员的路径和出发时间选择行为; 交通事故发生后驾驶员在没有出行信息情况下的交通出行行为; 交通事故发生后驾驶员在实时出行信息系统诱导下的交通出行行为. 通过比较这3种情况下交通系统总体行程费用, 可以求得出行信息系统带来的出行成本变化, 即出行信息系统的效益. 研究发现, 当交通事故性质严重、出事地点通行能力下降较大时, 出行信息系统可以在很大程度上缓解交通网络拥挤、降低系统出行费用; 而当交通事故性质较轻、出事地点通行能力下降较小时, 出行信息系统不仅不能缓解交通网络拥挤, 反而会增加系统出行费用. 这表明出行信息系统并不总是对交通系统有利的, 发布出行信息应视具体情况而定.

关键词: 交通网络; 出行信息系统; 实时; 非均衡; 效益评价

中图分类号: U491 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2011)09-0013-08

0 引言

近年来, 国内外一些学者针对出行信息系统(TIS)的工作机理开展了丰富的研究, 取得了不少研究成果. 如 Yang^[1]建立了混合随机路径选择模型表达驾驶员在不同信息获取能力时的择路行为, Yang 和 Zhang^[2]分析了不同出行信息系统装载率时的交通网络均衡状态, Yang 和 Huang^[3]建立了最优控制模型用于优化出行信息系统的长期装载率. 吴文祥和黄海军^[4]分析了平行结构交通网络中出行信息对交通行为的影响. 任伟等^[5]运用经济学方法分析了出行信息系统的市场占有率. Huang 等^[6]研究了出行信息系统市场渗透率的日变规律和年变规律.

当前, 有关交通信息系统的机理研究主要停

留在静态网络上. 有关出行信息作用下驾驶员出发时间调整的动态出行行为研究还比较少. Zhang 等^[7]建立了驾驶员在交通信息作用下同时调整出发时间和行驶路径的动态交通行为, 但是该研究是建立在预估型出行信息系统基础之上, 即驾驶员在出发前能准确预估整个出行中的网络变化. 在实际情况下, 即便驾驶员装载有出行信息系统, 他也只能及时了解已经发生的交通事故, 而无法推断未来时刻的交通变化. 鉴于过去出行信息系统模型的局限性, 本文开发了更符合实际情况的实时出行信息系统诱导下的交通反应模型. 该模型不再假定出行信息系统的预测功能, 相反它可以刻画驾驶员在实时信息条件下的行为反应.

另外, 本文还利用新模型评价出行信息系统的经济效益, 并分析出行信息系统的发布条件.

^① 收稿日期: 2009-10-19; 修订日期: 2010-10-13.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70871092).

作者简介: 张小宁(1975—), 男, 安徽安庆人, 博士, 研究员, 博士生导师. Email: cexzhang@tongji.edu.cn

1 正常情况下动态交通均衡

本文的分析建立在图1所示的交通网络上,该网络由两条平行路径组成,即路径a和路径b.每条路径上均存在1个通行能力受限的交通瓶颈.每条路径的行程时间由两部分组成,即瓶颈处的排队时间和瓶颈外其他路段上的恒量行驶时间.由于恒量行驶时间对动态交通分析没有影响,因此本文中假定其为0.在瓶颈处的车辆排队长度按以下确定性规则变化

$$\frac{dD_i(t)}{dt} = \begin{cases} 0, & \text{如果 } D_i(t) = 0 \\ & \text{且 } r_i(t) < s_i(t) \\ r_i(t) - s_i(t), & \text{否则} \end{cases}$$

这里 $D_i(t)$ 是路径 i 上瓶颈处时刻 t 的排队长度, $r_i(t)$ 是从A点出发经由路径 i 驶向B点的瞬时出发率, $s_i(t)$ 表示路径 i 上瓶颈的瞬时通行能力, i 为a或b.

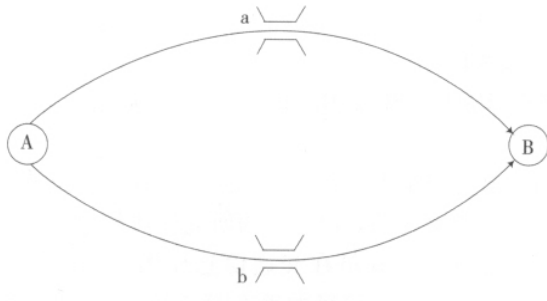


图1 一个交通网络

Fig. 1 A transportation network

早高峰期间,每天有 N 人需要从A地赶到B地去上班.每人驾驶一辆小汽车.准点上班时间为 t^* .出行者的交通费用由两部分组成,一是路途上的行程时间费用,另一是早到或晚到目的地的非准点惩罚费用.为了便于分析和比较,行程时间和非准点惩罚费用均换算成货币费用.每单位的行程时间换算成 α 单位货币费用,每单位的早到时间换算成 β 单位货币费用,每单位的晚到时间换算成 γ 单位货币费用.为了保证稳定均衡解的存在性,假定 $\gamma > \alpha > \beta$.本文中, $N, t^*, \alpha, \beta, \gamma$ 为给定的常数,瓶颈的瞬时通行能力 $s_i(t)$ 也已知,接下来将按照个体出行费用最小化原则推导每条路径的出发率 $r_i(t)$ 、瓶颈处排队长度 $D_i(t)$ 、和出行成本 $C_i(t)$ 等变量的计算公式.

$$C_i(t) = \alpha \frac{D_i(t)}{s_i(t)} + \beta \max \left\{ t^* - t - \frac{D_i(t)}{s_i(t)} \rho \right\} + \gamma \max \left\{ t + \frac{D_i(t)}{s_i(t)} - t^* \rho \right\}$$

出行者的出行费用可用下式表达(见Zhang等^[8])

这里 $C_i(t)$ 表示时刻 t 出发选择路径 i 出行所需要的出行成本.

根据用户均衡原则^[8],正常情况下出行者在选择出发时间的时候会形成如图2所示的交通出行分布.曲线ADE和ABC分别代表路径a和路径b的累计车辆出发数,直线AE和AC分别代表路径a和路径b的累计车辆到达数.这种出行模式是旅行者所习惯和一般情况下实际发生的交通模式.路径a和路径b上的总出行者分别为 $n_a = \frac{Ns_a}{s_a + s_b}$ 和 $n_b = \frac{Ns_b}{s_a + s_b}$.在这种交通模式下,出行者的个体出行费用是相同的,即

$$c = \frac{\beta\gamma N}{(\beta + \gamma)(s_a + s_b)}$$

系统总体出行费用为

$$C = \frac{\beta\gamma N^2}{(\beta + \gamma)(s_a + s_b)}$$

2 交通事故发生后在没有出行信息情况下的非均衡交通行为

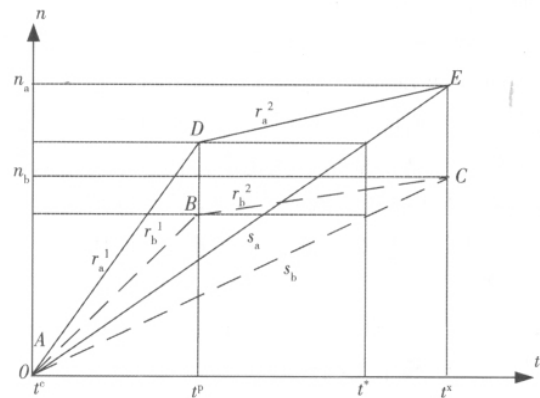


图2 正常情况下考虑用户均衡的交通出行模式

Fig. 2. Travel pattern considering user equilibrium under regular condition

假如在时刻 t^d ,路径a上发生了一次交通事故,该事故导致路径a上的瓶颈的通行能力下降.

该瓶颈的通行能力由 s_a 下降为 s'_a . 这里假定 s'_a 已知. 如果所有的出行者都没有装载出行信息系统, 则两条路径的交通出发率维持不变. 此时, 路径 a 上的交通出行如图 3, 路径 b 上的交通出行依然由图 2 中的虚线表示. 从图 3 看, 由于交通事故的影响, 路径 a 的累计交通到达曲线由 AE 改变为 AST.

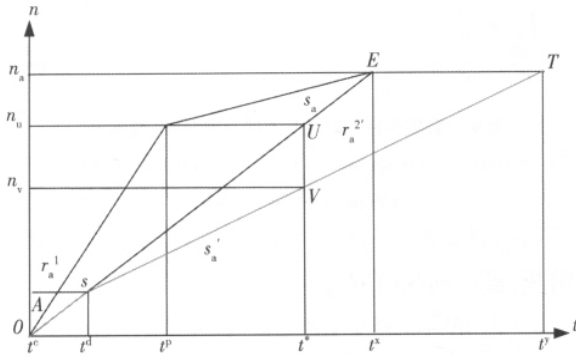


图 3 交通事故发生后路径 a 上的交通出行模式
Fig. 3 Travel pattern on route a after the traffic accident

因为路径 a 上的总流量不变, 有

$$n_a = (t^d - t^c) s_a + (t^y - t^d) s'_a$$

所以, 最后一个出行者到达终点的时间为

$$t^y = t^d + \frac{n_a + s_a(t^c - t^d)}{s'_a}$$

图中 n_u 为不发生交通事故时原出行模式中时刻 t^* 前到达终点的总交通量, n_v 为发生交通事故后新出行模式中时刻 t^* 前到达终点的总交通量, 因而

$$n_u - n_v = (t^* - t^d) (s_s - s'_a)$$

和原出行模式相比, 发生交通事故后新出行模式中总排队时间增加了面积 SET, 总早到时间减少了面积 SUV, 总晚到时间增加了面积 EUVT.

面积 SET 为

$$A_d = 0.5 [n_a - (t^d - t^c) s_a] (t^y - t^x)$$

面积 SUV 为

$$A_e = 0.5 (n_u - n_v) (t^* - t^d)$$

面积 EUVT 为

$$A_f = A_d - A_e$$

因此, 若所有出行者均不装载出行信息系统, 与正常情况相比, 发生交通事故后系统总出行费用增加了

$$\Delta C_a = \alpha A_d + \gamma A_f - \beta A_e$$

系统内所有出行者的总体出行成本为

$$\hat{C} = C + \Delta C_a$$

3 交通事故发生后在实时出行信息情况下的非均衡交通演化

同样, 假如在时刻 t^d , 路径 a 上发生了一次交通事故. 该事故导致路径 a 上的瓶颈的通行能力由 s_a 下降为 s'_a . 如果所有的出行者都装载了出行信息系统, 则两条路径的交通模式将会和前节的情况大不相同.

路径 a 上的交通出行模式如图 4 所示. 在路径 a 上, 由于通行能力突然减小, 正在瓶颈后面排队的车辆将面临排队时间显著增加的情况. 如图, 第 n_h 位出行者的行程时间将由 $t^i - t^d$ 增加到 $t^s - t^d$. 路径 a 上发生交通事故后通行能力骤然减小, 在这之后的一段时间内路径 a 的行程时间将大于路径 b 的行程时间. 因此, 根据个体费用最小化原则, 在这段时间内从起点出发的所有驾驶员均选用路径 b 而没有出行者选用路径 a. 当路径 a 上的排队车辆消散到一定程度后, 出行者将以新的出发率 $r_a^{1'}$ (早到) 和 $r_a^{2'}$ (晚到) 在路径 a 上行驶. 根据动态用户均衡条件 (Zhang 等^[8]), 新的出发率 $r_a^{1'}$ 和 $r_a^{2'}$ 分别为 $r_a^{1'} = \frac{\alpha s'_a}{\alpha - \beta}$ 和 $r_a^{2'} = \frac{\alpha s'_a}{\alpha + \gamma}$.

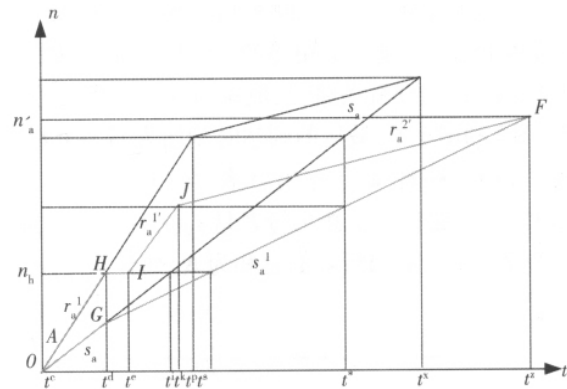


图 4 信息诱导下路径 a 上的交通模式

Fig. 4 Travel pattern on route a under the guidance of traffic information

在信息系统的帮助下, 尚未出发的出行者知道了交通事故导致网络总体通行能力的下降, 某些出行者将提前出发以避免迟到. 另外, 由于路径 a 行程时间的急骤增加且在一段时间内被弃用, 相对地路径 b 将更具有吸引力. 因此, 路径 b 上的排队车辆在 t^d 时刻瞬时增加到某个值, 在这瞬间路径 b 的车辆出发率理论上为无穷大. 因此, 在 t^d

时刻,系统是不均衡的,出行者争夺进入路径 b,先进入者比后进入者的出行成本小.

随着路径 b 上排队长度增加到一定程度,也就是说经历了 t^d 时刻路径 b 上的出发率的跳跃后 t^d 时刻后的交通出行将达到新的均衡.在这种新的均衡中,出行者们可以维持合理的出发率而保持互相相等的出行成本.也就是说,系统在 t^d 时刻经历了从原均衡状态到新的均衡状态的转变.从以上分析可知,由于交通事故造成系统总通行能力下降,且出行者无法预知交通事故的发生,所以事故发生后才出发的出行者出行成本比事故发生前已经出发的出行者高.而 t^d 瞬间出发的出行者出行成本介于两者之间.

t^d 时刻后路径 b 上的交通出行分为两种情况.第 1 种情况(情况 A),若 t^d 时刻出发且排在车队最后的出行者在时刻 t^* 后到达终点(即晚到),路径 b 上的交通出行如图 5 所示,车辆出发率统一为 r_b^2 .第 2 种情况(情况 B),若 t^d 时刻出发且排在车队最后的出行者在时刻 t^* 前到达终点(即早到),路径 b 上的交通出行如图 6 所示,车辆出发率为 r_b^1 (早到)和 r_b^2 (晚到).根据动态用户均衡条件(Zhang 等^[8]) r_b^1 和 r_b^2 维持图 2 中的值不变,即 $r_b^1 = \frac{\alpha s_b}{\alpha - \beta}$ 和 $r_b^2 = \frac{\alpha s_b}{\alpha + \gamma}$.

从均衡思想来说 t^d 时刻后驾驶员无论选择哪条路径,出行成本是相等的.因此,最后出发的出行者无论选择哪条路径,他应同时到达终点.因此,图 5 和图 6 中,最后的到达时刻均为同一个 t^z .从 t^c 到 t^z ,路径 a 上总出行者是 $s_a(t^d - t^c) + s'_a(t^z - t^d)$,路径 b 上总出行者是 $s_b(t^z - t^c)$.因为两条路径上所有出行者的总和为 N ,则有

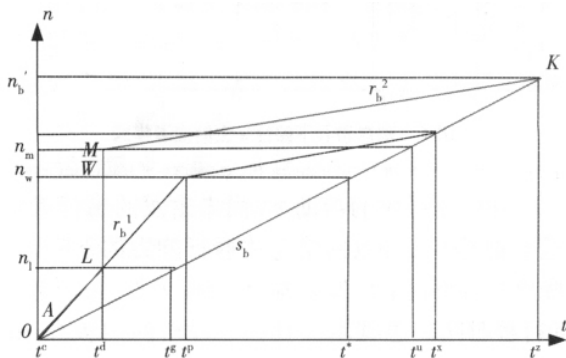


图 5 信息诱导下路径 b 上的交通模式(情况 A)

Fig. 5 Travel pattern on route b under the guidance of traffic information(Scenario A)

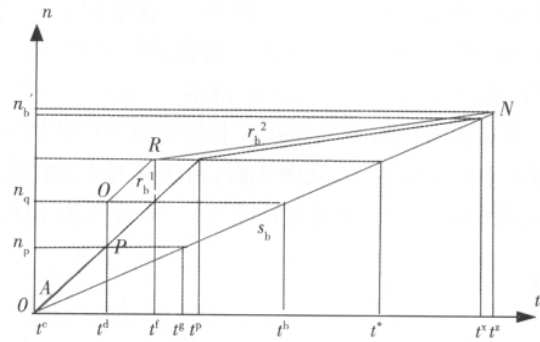


图 6 信息诱导下路径 b 上的交通模式(情况 B)

Fig. 6 Travel pattern on route b under the guidance of traffic information(Scenario B)

$$s_a(t^d - t^c) + s'_a(t^z - t^d) + s_b(t^z - t^c) = N$$

因此,最后到达时刻为

$$t^z = \frac{N + s'_a t^d + s_b t^c + s_a(t^c - t^d)}{s'_a + s_b}$$

根据用户均衡原则,经过调整后,新均衡状态中个体出行成本相等,且等于最后一个出行者的晚到惩罚费用,为

$$c' = \gamma(t^z - t^*) \\ = \gamma \left[\frac{N + s'_a t^d + s_b t^c + s_a(t^c - t^d)}{s'_a + s_b} - t^* \right]$$

从图 4 中,线段 HG 代表的出行者数,有

$$(r_a^1 - s_a)(t^d - t^c) = s'_a(t^s - t^d)$$

得出

$$t^s = t^d + \frac{(r_a^1 - s_a)(t^d - t^c)}{s'_a}$$

路径 a 上,事故发生前出发的出行者数有 $(t^d - t^c)r_a^1$,他们的个体出行成本为 c ;事故发生后出发的出行者数有 $(t^z - t^s)s'_a$,他们的个体出行成本为 c' .因此,路径 a 上所有出行者总数为

$$n'_a = (t^d - t^c)r_a^1 + (t^z - t^s)s'_a$$

路径 a 上所有出行者总体出行费用为

$$C'_a = (t^d - t^c)r_a^1 c + (t^z - t^s)s'_a c'$$

图 5 中,第 n_1 位出行者前出发的出行者不受交通事故的影响,他们的出行成本为 c .第 n_m 位出行者及以后出发的出行者由于受交通事故的影响,他们的出行成本等于 c' .第 n_m 位出行者的出行成本为

$$c' = \alpha(t^u - t^d) + \gamma(t^u - t^*)$$

得出

$$t^u = \frac{c' + \alpha t^d + \gamma t^*}{\alpha + \gamma}$$

第 n_w 位出行者正点到达, 他的出行成本为

$$c^o = \alpha(t^* - t^d)$$

图中 $n_m - n_w = (t^u - t^*) s_b$, $n_w - n_1 = (t^* - t^g) s_b$.

因此, 在 t^d 时刻的总出发车辆数为 $n_m - n_1$, 它们的总出行成本为

$$\bar{C}_b = 0.5(n_m - n_w)(c^o + c') + 0.5(n_w - n_1)(c^o + c)$$

路径 b 上 t^d 前出发的出行者数为 $(t^d - t^c) r_b^1$, 他们的个体出行成本为 c ; t^d 后出发的出行者数为 $(t^z - t^u) s_b$, 他们的个体出行成本为 c' ; t^d 时刻瞬时出发的出行者数为 $n_m - n_1$, 总出行成本为 \bar{C}_b . 因此, 路径 b 上所有出行者的总出行成本为

$$C'_b = (t^d - t^c) r_b^1 c + (t^z - t^u) s_b c' + \bar{C}_b$$

并且, 路径 b 上所有出行者的总人数为

$$n'_b = (t^z - t^c) s_b$$

图 6 中, 第 n_p 位出行者前出发的出行者不受交通事故的影响, 他们的出行成本为 c . 第 n_q 位出行者及以后出发的出行者由于受交通事故的影响, 他们的出行成本等于 c' . 第 n_q 位出行者的出行成本为

$$c' = \alpha(t^h - t^d) + \beta(t^* - t^h)$$

则

$$t^h = \frac{c' + \alpha t^d - \beta t^*}{\alpha - \beta}$$

在 t^d 时刻总出发车辆数为

$$n_q - n_p = (t^h - t^g) s_b$$

路径 b 上 t^d 前出发的出行者数为 $(t^d - t^c) r_b^1$, 他们的个体出行成本为 c ; t^d 后出发的出行者数为 $(t^z - t^h) s_b$, 他们的个体出行成本为 c' ; t^d 时刻瞬时出发的出行者数为 $n_q - n_p$, 总出行成本为 $0.5(n_q - n_p)(c + c')$. 因此, 所有出行者的总出行成本为

$$C'_b = (t^d - t^c) r_b^1 c + (t^z - t^h) s_b c' + 0.5(n_q - n_p)(c + c')$$

路径 b 上所有出行者的总人数为

$$n'_b = (t^z - t^c) s_b$$

区分图 5 和图 6 两种情况的判断条件是: 比较 t^d 时刻最后出发的出行者到达时间 t^u (或 t^h) 和 t^* . 在图 5 中 $t^u > t^*$, 即 $c' > \alpha(t^* - t^d)$. 在图 6 中 $t^h < t^*$, 即 $c' < \alpha(t^* - t^d)$. 这说明通过比较 c' 和 $\alpha(t^* - t^d)$ 的大小也可以判断路径 b 上的交通出行模式是图 5 还是图 6.

通过本节分析, 可以知道交通事故发生后, 交通信息诱导下交通系统总体成本为

$$C' = C'_a + C'_b$$

4 交通出行信息系统效益评价及算例

交通信息系统的效益可以定义为引入交通信息系统后网络总体出行成本的下降, 即交通事故发生后不引入信息系统与引入信息系统两种情况下网络总体出行成本的差异. 因此, 从数学上讲, 交通信息系统的效益可以表示成 $B = \hat{C} - C'$.

下面介绍一个例子, 说明在引入和不引入交通信息系统情况下的交通出行模式, 并分析信息系统的效益. 例中, 参数 $\alpha = 1.0$ 元/min, $\beta = 0.5$ 元/min, $\gamma = 2.0$ 元/min; 路径 a 通行能力 $s_a = 30$ 辆/min, 路径 b 通行能力 $s_b = 15$ 辆/min, 出行者总数 $N = 6000$ 人; 正点到达时间 $t^* = 8:00$, 路径 a 上交通事故发生时间 $t^d = 6:33:20$.

在日常出行的正常情况下, 两条路径上的交通出行模式见图 2. 交通出行的起始 $t^c = 6:13:20$, $t^x = 8:26:40$. 个体出行成本 $c = 53.333$ 元, 系统出行成本 0.32×10^6 元.

交通事故发生后, 在驾驶员得不到交通信息的情况下, 路径 a 上的交通出行如图 3, 路径 b 上的交通出行依然由图 2 中的虚线表示. 具体参数见表 1.

若交通事故发生后, 驾驶员能准确得到交通信息, 则路径 a 上的交通出行如图 4, 路径 b 上的交通出行如图 5 或图 6. 具体参数见表 2. 表中最后一行列出了引入交通信息系统的效益.

表1 事故发生后不引入交通信息系统时的出行模式参数

Table 1 Parameters of travel pattern without traffic information after accident

事故发生后路径 a 的剩余通行能力 / 辆 · min ⁻¹	5	10	15	20	25
路径 a 上最后出发者到达目的地时间 t ^y	17: 53: 20	12: 13: 20	10: 20: 00	9: 23: 20	8: 49: 20
总早到时间减少 A _e /10 ³ 元	93. 89	75. 11	56. 33	37. 56	18. 78
总排队时间增加 A _d /10 ⁶ 元	0. 963 3	0. 385 3	0. 192 7	0. 096 3	0. 038 5
总晚到时间增加 A _l /10 ⁶ 元	0. 869 4	0. 310 2	0. 136 3	0. 058 8	0. 019 8
系统总出行费用增加 ΔC _a /10 ⁶ 元	2. 655 3	0. 968 2	0. 437 2	0. 195 1	0. 068 7
系统总出行费用 \bar{C} /10 ⁶ 元	2. 975 3	1. 288 2	0. 757 2	0. 515 1	0. 388 7

表2 事故发生后引入交通信息系统时的出行模式参数

Table 2 Parameters of travel pattern with traffic information after accident

事故发生后路径 a 的剩余通行能力 / 辆 · min ⁻¹	5	10	15	20	25
最后出发者到达目的地时间 t ^z	10: 48: 20	9: 57: 20	9: 23: 20	8: 59: 03	8: 40: 50
新均衡状态中个体出行成本 c'/ 元	336. 7	234. 7	166. 7	118. 1	81. 7
路径 a 上的总出行者数 n' _a / 人	1 875	2 640	3 150	3 514	3 787
路径 b 上的总出行者数 n' _b / 人	4 125	3 360	2 850	2 486	2 213
路径 a 上的总出行费用 C' _a /10 ⁶ 元	0. 291 3	0. 401 9	0. 389 0	0. 337 3	0. 275 3
路径 b 上的总出行费用 C' _b /10 ⁶ 元	0. 795 8	0. 460 3	0. 294 3	0. 204 2	0. 151 6
系统总出行费用 C'/10 ⁶ 元	1. 087 1	0. 862 2	0. 683 3	0. 541 4	0. 427 0
引入交通信息系统的效益 /10 ⁶ 元	1. 888 2	0. 426 1	0. 073 8	- 0. 026 3	- 0. 038 3

通过比较以上两种情况下的出行方式和系统费用,可以计算事故发生后发布交通信息的效益.图7是交通信息的效益随路径 a 交通瓶颈剩余通行能力变化的曲线图.

从图上可以发现,当交通事故较严重,即路径 a 上的剩余通行能力较低时,交通信息系统的效益非常显著.而当交通事故较轻微,即路径 a 上的剩余通行能力仍然较高(本例中大于 17.8 辆/min)时,交通信息系统的效益是负数.

实例表明,在较严重的交通事故发生后,交通信息系统确实可以发挥理想的消除拥挤的作用,但盲目地发布交通信息有时候也可能适得其反.交通信息能不能对系统提供帮助还要取决于事故发生后的剩余通行能力.在应对交通事故时,是否应该发布交通信息取决于交通事故造成的通行能力下降程度;当通行能力下降较小时,不宜发布交通信息,否则会引起出行者的过激反应而导致总

体出行成本上升.

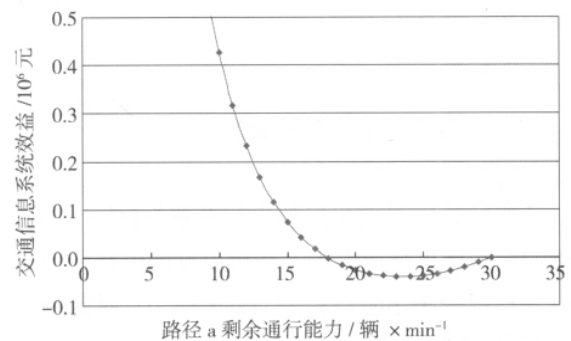


图7 交通信息的效益随路径 a 剩余通行能力变化

Fig. 7 Variation of the benefit of traffic information against the change of the residual capacity of route a

5 结束语

在一个平行结构的交通网络上,本文分析了

交通事故发生后在驾驶员获取和不获取实时交通信息两种情况下的交通出行行为,并评价了交通信息对于缓解交通网络拥挤的效益。首先,建立了正常情况、交通事故发生后发布交通信息和不发布交通信息3种情况下的交通行为演化模式。其次,通过比较提供交通信息和不提供交通信息两种不同情况下的系统出行成本,建立了交通信息系统的效益评价公式。最后,用算例分析了发布交通信息的适用条件:在较严重的交通事故发生后,交通信息系统确实可以发挥理想的消除拥挤的作用;但当事故不严重,通行能力下降较小时,不宜发布交通信息,否则会引起出行者的过量反应而导致总体出行成本上升。

需要指出的是,本文的分析是建立在刚性需求假设之上的,即出行者的总数量是固定不变的。若考虑弹性交通需求,即出行者数量是平均出行成本的减函数,网络上的路径流量分布将保持不

变,但总出行量将发生改变。系统评价指标也应该由总出行成本变为总社会福利,交通信息的效益评价指标将由总出行成本的减少量改为总社会福利的增加量。

另外,值得注意的是本文的模型和结论是在一定的假设条件下完成的,并不能够推广到所有的交通网络和交通信息系统中。如,本文的结论建立在两条平行路径构成的简单网络上,尚不能肯定是否适用于一般结构的网络;本文假定早到和迟到延误惩罚费用随延误时间线性变化,这和实际情况有一定的偏差;本文也没有考虑信息渗透率和随机路径选择问题,假定在交通信息环境下所有驾驶员对网络信息是完全掌握的;此外,在推导非均衡行为演化过程中,没有考虑驾驶员因延误增加而放弃交通出行的情况,也没有考虑交通信息在驾驶员群体中传播的迟滞性。

参考文献:

- [1] Yang H. Multiple equilibrium behavior and advanced traveler information systems with endogenous market penetration[J]. *Transportation Research B*, 1998, 32(3): 205-218.
- [2] Yang H, Zhang X N. Modeling competitive transit and road traffic information services with heterogeneous endogenous demand[J]. *Transportation Research Record*, 2002, (1783): 7-16.
- [3] Yang H, Huang H J, Modeling user adoption of advanced traveler information systems: A control theoretical approach for optimal endogenous growth[J]. *Transportation Research C*, 2004, 12(3): 193-207.
- [4] 吴文祥, 黄海军. 平行结构交通网络中信息对交通行为的影响研究[J]. *管理科学学报*, 2003, 6(2): 12-16.
Wu Wen-xiang, Huang Hai-jun. Study on the travel behavior impacts by travel information systems in a network with parallel routes[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2003, 6(2): 12-16. (in Chinese)
- [5] 任伟, 高自友, 任华玲. ATIS市场占有率问题研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2006, 6(1): 37-41.
Ren Wei, Gao Zi-you, Ren Hua-ling. Research on ATIS market penetration problem[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2006, 6(1): 37-41. (in Chinese)
- [6] Huang H J, Liu T L, Yang H. Modeling the evolutions of day-to-day route choice and year-to-year ATIS adoption with stochastic user equilibrium[J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2008, 42(2): 111-127.
- [7] Zhang X N, Zhang H M, Li L Y. Analysis of user equilibrium traffic patterns on bottlenecks with time-varying capacities and their applications[J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2010, 3(1): 1-19.
- [8] Zhang X N, Zhang H M. Simultaneous departure time and route choices in queuing networks and a novel paradox[J]. *Networks and Spatial Economics*, 2010, 10(1): 93-112.

Traffic pattern under the guidance of real time traffic information and traffic information benefit evaluation

ZHANG Xiao-ning

School of Economics and Management , Tongji University , Shanghai 200092 , China

Abstract: In the past , the research of traffic information system is mainly carried out in static transportation networks , and the dynamic behavior of travelers under the guidance of real time traffic information is rarely studied. In this paper , the dynamic reaction of travelers and the non-equilibrium traffic evolution in transportation networks under the guidance of traffic information are studied , based on which the benefit of traffic information is evaluated. Firstly , we investigate three kinds of travel behaviors: simultaneous departure time and route choices of drivers in normal traffic condition , travel behavior of drivers without traffic information after a traffic accidents occurring , and travel behavior of drivers with real time traffic information guidance after a traffic accidents occurring. By comparing the total travel costs in the three situations , the change of the total travel cost or the benefit of traffic information can be calculated. It is found that traffic information system can mitigate traffic congestion of networks substantially , if the traffic accident is severe and road capacity drops heavily. However , if the traffic accident is light and road capacity drops slightly , providing traffic information will make transportation system worse off , and it will result in the increase of total travel cost. This implies that traffic information is not always good to transportation system , and it should be provided cautiously.

Key words: transportation network; travel information system; real time; non-equilibrium; benefit evaluation