

基于 TRANSIMS 的顺序出发时间与 路径选择模型研究

张弘弢^{1,2}, 闫国年¹, 温永宁¹

(1. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210046)

(2. 中国科学院深圳先进技术研究院智慧计算与信息科学实验室, 广东 深圳 518055)

[摘要] 城市交通拥挤一直是世界性的研究热点和难点问题,已有研究发现出行者一般通过直接改变出行路径和出发时间的决策来间接地对路网延误现象实施应对. 本文给出了一个简单的出发时间转移模型,并将其和交通分析与仿真系统(TRANSIMS)的建模过程进行集成,进而提出了一种顺序出发时间与路径选择模型. 为了进一步对该模型实施模型收敛检查并验证其可行性,本文将其应用到美国底特律市区的大使桥门户重建项目中,同时设计了模型应用场景,主要包括道路封闭事件和实行的交通拥挤缓解措施,进而评价道路施工作业区对出行者出发时间转移的影响. 分析结果显示,和出发时间与路径选择模型相比,基于仅有路径选择功能的均衡模型可能过高估计道路施工区的延误作用.

[关键词] 交通拥挤, 出发时间与路径选择, TRANSIMS, 道路施工区

[中图分类号] U491.1 [文献标志码] A [文章编号] 1001-4616(2011)03-0118-06

Research on Sequential Departure Time and Route Choice Model Based on TRANSIMS

Zhang Hongtao^{1,2}, Lü Guonian¹, Wen Yongning¹

(1. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

(2. Laboratory for Smart Computing and Information Science, Shenzhen Institute of Advanced Technology,
Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Urban traffic congestion has been a worldwide hot spot and difficult issue, the existing studies illustrated that individual travelers generally impose the influence on road network delays by directly changing their travel departure time and route choices. This paper presents a simple departure time shift model, and integrates it with the modeling process of TRansportation ANalysis and SIMulation System (TRANSIMS), and then documents a sequential departure time and route choice model. For the purpose of further implementing the model convergence check and calibrating the feasibility of the model application, this study employs the sequential model to the Ambassador Bridge Gateway Reconstruction project in metro Detroit, U. S., and creates work zone scenarios that contain the road closure event and implemented operational mitigation measure, in order to investigate the impact of road work zone on departure time shift. More importantly, the analysis shows that the equilibrium model solely with route choice capability may overestimate road work zone delays, compared to the model with both departure time and route choice.

Key words: traffic congestion, departure time and route choice, TRANSIMS, road work zone

城市交通拥挤一直是世界性的研究热点和难点问题,其产生的根本原因是交通供给的刚性与交通需求的柔性之间不平衡的耦合性矛盾. 目前解决这一问题最有效的途径就是在适度增加交通供给的同时,采用合理的交通需求管理措施抑制或引导交通需求的产生. 而政府用来缓解交通拥挤的相关交通政策和措施,如上下班时间错开、道路收费和公交补贴等,都是通过直接影响到个人的出发时间和出行路径的决策

收稿日期: 2011-06-28.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40730527)、美国交通运输部联邦公路局(FHWA)项目(DTFH61-08-C-00019).

通讯联系人: 张弘弢, 博士研究生, 助理研究员, 研究方向: 虚拟地理环境、交通 GIS 及微观交通仿真模型. E-mail: ethan_0806@hotmail.

— 118 —

来间接地对交通问题施加作用. 然而, 已有研究大多只关注于出行路径的选择问题. 事实上, 在早或晚高峰期间出行者往往通过调整自己的出发时间以避免交通拥挤^[1]. 因此, 对出行者的出发时间与出行路径的组合选择行为进行研究具有重要的现实意义.

到目前为止, 研究者主要采用 2 种方法来构建出发时间与路径选择的组合模型, 分别是仿真法和解析法. 仿真法能比较真实地反映微观交通的动态特性, 确保严格遵守的交通分配准则(如 Wardrop 准则) 相对次要, 因此不易确定模型解的特性^[2]. 而解析法则对模型解的特性分析更加明显, 且大多使用宏观路段出行时间函数(BPR 方程) 来近似真实的动态交通, 所以求解过程和收敛性能得到保证^[3]. 例如, Ran 和 Boyce、Chen 和 Chang 以及任华玲和高自友分别给出了各自的出发时间与路径选择的组合动态用户最优模型, 但由于他们所给出的与变分不等式模型等价的非线性规划问题既包含路段上的流入率和流出率变量, 又包含起讫点需求变量, 因此求解过程非常复杂^[4-6]; Huang 和 Lam 给出了一种基于路径并考虑排队现象的出发时间与路径选择的组合模型^[7]; Szeto 和 Hong 以及李曙光等对具有灵活需求的同时出发时间与路径选择行为进行了深入研究^[8-9]; 龙建成等采用双层规划的方法建立了基于动态用户最优出发时间与路径选择的组合模型, 并应用改进的元胞传输模型构造了动态路网条件下实际走行时间的计算方法^[10].

在前人研究的基础上, 本文提出了一种基于交通分析与仿真系统(TRANSIMS) 的顺序出发时间与路径选择模型, 并将其应用到道路施工作业区对出行者出发时间转移的影响分析中. 通常情况下, 研究者使用广义出行费用和预定的延误来同时确定出行者出发时间和出行路径的选择. 但是和同时出发时间与路径选择问题不同, 顺序方法首先查找出行个体的出发时间, 然后搜索他们的最优路径.

1 顺序出发时间与路径选择模型构建过程

1.1 TRANSIMS 建模系统

TRANSIMS 是在美国交通运输部、能源部和环境保护局三方联合支持下, 由美国洛斯阿拉莫斯国家重点实验室主持开发的一款集出行需求预测、交通流量仿真和交通污染评价于一体的新一代微观交通仿真建模系统. 它能够以高时空分辨率的方式模拟研究区中居民的出行行为, 进而分析交通运输系统的性能. TRANSIMS 建模系统已经被视为一种统一的可扩展的分析过程, 它可以在大尺度范围上真实地再现个体出行者的活动和出行决策行为.

1.2 建模方法

本文研究一种顺序出发时间与路径选择模型, 主要是因为: (1) 这种方法借助分离过程可以为出发时间与路径选择的变化提供一个清晰的理解; (2) 这种方法在对出行者出发时间与路径组合选择的模拟上更真实; (3) 因为在程序中限定了搜索空间, 所以这种方法实际上更易建模. 顺序出发时间与路径选择过程的建模原理是通过比较出行者先前的实际到达时间(AAT) 和偏好到达时间(PAT), 来更新他们的出发时间, 接着基于更新后的出发时间查找他们的最优路径.

和其他模拟分析工具一样, TRANSIMS 系统可以分析路网条件变化的影响. 然而却不能明确地对出发时间选择问题建模, 因此本文为出发时间的选择设计了一个附加组件, 以分析出行者出发时间的转移. 顺序模型的整体框架是由 5 个子过程构成: (1) 1 个预处理过程; (2) 1 个出发时间选择过程; (3) 1 个路径选择过程; (4) 1 个微观模拟过程; (5) 1 个出行时间更新过程, 如图 1 所示.

第一步是确定每位出行者的 PAT. 在本文的研究中, 出行者的 PAT 假定为每位出行者达到基础用户均衡情形

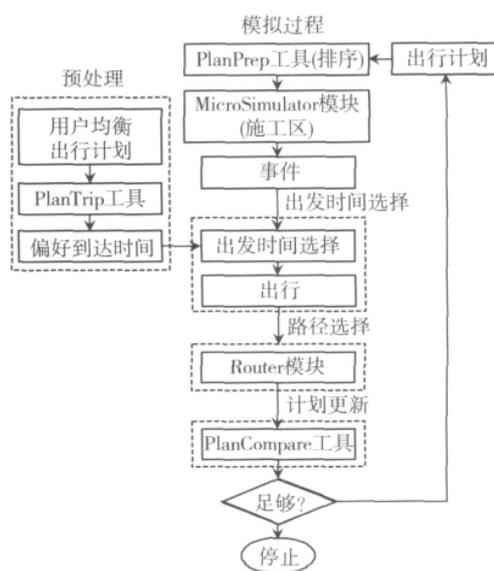


图 1 基于 TRANSIMS 的顺序出发时间与路径选择模型的构建过程

Fig.1 Analysis procedure of sequential departure time and route choice model based on TRANSIMS

下的时间,即不包括道路施工区。PAT 是出发时间选择研究的基础。第二步是基于每位出行者的 AAT 和 PAT 来转移出发时间。出发时间的选择行为一般建模为预定延误和出行时间之间的关系。本文使用了一种简单的出发时间转移(ΔT)模型,如图 2 和下列公式所示。

$$\Delta T = \begin{cases} \alpha(AAT - PAT), & \text{如果 } AAT - PAT < IND_{EA}, \\ 0, & \text{如果 } IND_{EA} < AAT - PAT < IND_{LA}, \\ \beta(AAT - PAT), & \text{如果 } AAT - PAT > IND_{LA}, \end{cases}$$

其中 ΔT 是指下一次转移的时间量; AAT 表示实际到达时间(出发时间 + 出行时间); PAT 是指偏好到达时间; IND_{LA} 表示晚到达的无差别带(正值); IND_{EA} 是指早到达的无差别带(负值); α 表示用于早到达的参数; β 是指用于晚到达的参数。

出发时间转移过程结束后,借助 TRANSIMS 的 Router 模块实施路径选择过程。针对这一过程,一份新的出行计划通过在被转移的出发时间点上选择最佳路径来制定。出发时间与路径选择的组合过程,视为一个顺序出发时间与路径选择。这个顺序过程是整个建模过程的核心,新的出行计划通过 TRANSIMS 的 PlanCompare 模块来生成。在这个过程中,模型收敛需要检查与迭代,直到收敛条件得到满足。

TRANSIMS 的 Microsimulator 模块对更新后的出行计划执行模拟,并确定出计划出行与实际出行之间的差异。具体借助 Microsimulator 中的 EvenSum 工具,通过更新基于实际出行时间的计划文件中记录的出行时间来更新出行差异。实际的出行记录迭代用于下一次出发时间的选择过程。

2 研究区概况与应用场景

2.1 研究区概况与数据来源

本文选择美国密歇根州的底特律(Detroit)大都市圈作为顺序出发时间与路径选择模型的验证区。和美国其他的大都市规划组织(MPOs)一样,东南密歇根政府委员会(SEMCOG)已经在 TransCAD 平台下为大底特律地区开发了“四阶段”出行需求预测模型,包括路网和出行需求数据。

SEMCOG 地区是由包括 Detroit 和 234 个其他社区在内的 7 个县构成,并已划分为 1 505 个交通分析区(TAZ),覆盖 490 万居民和 190 万户家庭。SEMCOG 路网包含 23 110 条路段,通过 15 222 个结点来连接,并根据道路的功能类型将它们分为 10 种类型,涵盖 4 条高速公路(I-75、I-94、I-275 和 I-696)和许多一级、二级主干道。图 3 显示了 SEMCOG 路网及其子区域(Detroit 市区)路网。SEMCOG 模型还为每一时段提供了按车辆类型划分的 OD 出行矩阵,同时将个人出行分为 6 种出行目的。结合商用车出行和研究区外部的出行,研究区产生的出行总数为 19 042 460 次。

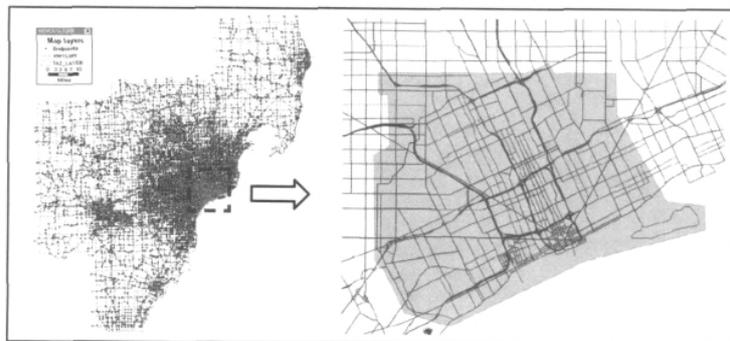


图 3 SEMCOG 路网及子区域路网
Fig.3 Overview of SEMCOG network and subarea network

2.2 应用场景设计

大使桥是北美地区最繁忙的过境贸易通道,它横跨底特律河连接美国密歇根州的底特律(Detroit)与加拿大的温莎(Windsor),占两国路面贸易总额的 25%。在 2008 年,大约 730 万辆车通过该大桥,其中

30% 或平均每天 9 000 辆车是重型卡车. 因此, 大使桥附近高速公路的交通状况每年正经历严重的交通拥挤.

大使桥门户重建项目于 2003 年启动, 运行与安全方面的主要改进包括, 通过按车辆类型划分的独立入口坡道, 在大使桥与周围的密歇根州高速公路系统之间直接通行. 为了研究顺序出发时间与路径选择模型应用到大使桥门户重建项目的可行性, 本文设计了 2 种应用场景, 以评价道路施工区对居民

出发时间的影响, 如表 1 所示. 其中, 场景 0 是指基本道路条件, 不包括道路封闭事件; 而场景 1 表示 2008 年的真实道路施工条件, I-75 主干道完全封闭, 且道路拥挤缓解措施发生在 M-10/I-94 的交汇处.

3 模型收敛

考虑到此类模型的运行需要消耗大量的计算资源, 本文的研究将构建的顺序模型应用到子区域路网和场景 1 中, 进而分析模型性能. 此类模型的收敛检查一般采用两个指标: 出行者被选择的比例和平均时间差. 顺序模型迭代模拟 24 d 后, 两个收敛指标分别达到 1.6% 和 5.3%, 如图 4 所示. 这两个指标值显示出发时间选择与路径选择组合过程的模型达到收敛要求.

本文提出的出发时间选择模型通过转移每位出行者的出发时间, 使出发时间尽可能接近 PAT. 作为出发时间选择过程一个独立的收敛指标, 本文研究的出行比率, 即实际到达与偏好到达之间的时间差, 应该小于 5 min. 图 5 显示随着迭代次数的增加, 更多出行落入 5 min 范围之内. 在第 24 d, 超过 97% 的出行位于 5 min 时间差内.

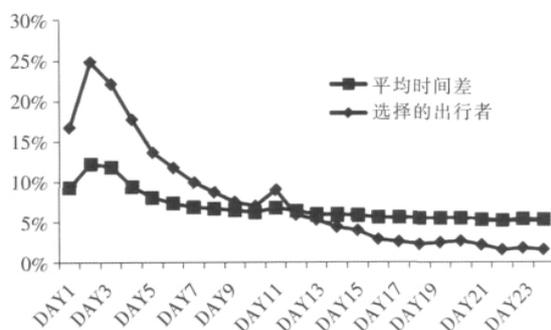


图 4 顺序出发时间与路径选择模型的收敛

Fig.4 Convergence of sequential departure time and route choice model

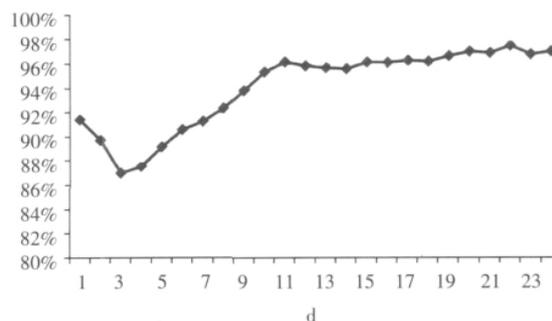


图 5 实际到达时间与偏好到达时间接近程度的变化

Fig.5 Changes in closeness between actual arrival and preferred arrival

4 道路施工区对出发时间的影响分析

4.1 到达时间上的变化

因为顺序模型试着通过调整出发时间和路径来将每位出行者的 AAT 与他的 PAT 进行匹配, 所以到达时间模式将接近 PAT 模式. 这种情形下的 PAT 就是开始高速公路施工活动之前的原始到达时间.

图 6 显示, 随着迭代过程的进行, 上午高峰时期 (6:00 - 10:00) 的 AAT 分布接近 PAT 模式. 早期在 7:30 - 8:30 期间到达的出行数量远低于偏好到达模式, 但是第 10 d 后的模式变得与偏好到达模式非常相似.

针对所有出行者以及原本出行通过封闭道路的被选择出行者, 图 7 分别展示了其偏好到达与实际到达之间平均时间差的变化. 由于选择的出行者直接并严重地受到高速公路封闭事件的影响, 所以初期他们的时间差远远低于整体平均水平. 随着时间的发展, 时间差的差异在缩小, 并从第 12 d 起实际到达时间变得非常接近偏好到达时间, 这主要是因为出行者相应调整了他们的出发时间.

4.2 出发时间上的变化

顺序出发时间与路径选择模型使出行者的到达时间更接近他们的原始到达时间 (PAT). 图 8 描绘了

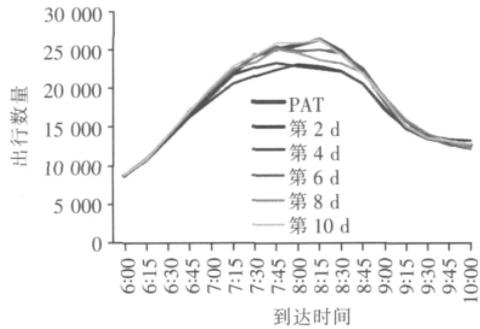


图 6 上午高峰时期到达时间模式的变化

Fig.6 Changes in arrival pattern during morning peak hours

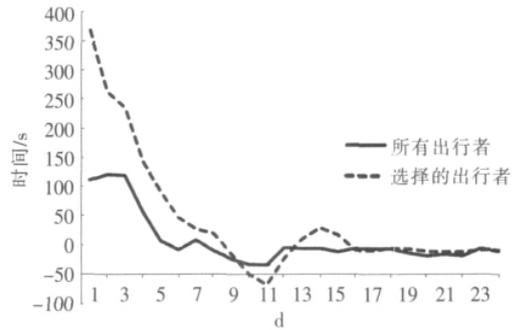
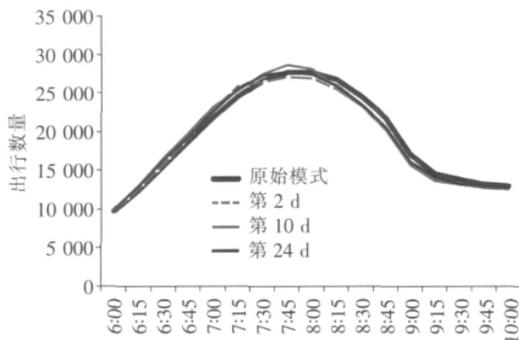


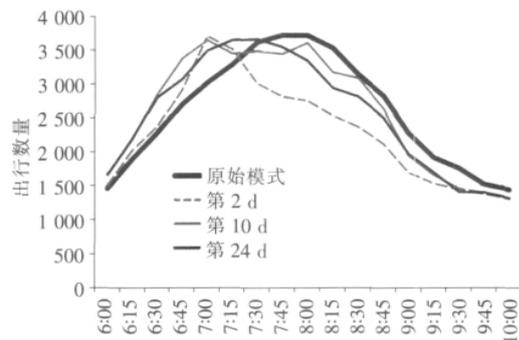
图 7 偏好到达与实际到达之间平均时间差的变化

Fig.7 Changes in the average time difference between preferred arrival and actual arrival

他们在上午高峰时期的实际出发时间模式. 当所有出行者的出发时间模式拥有微小而清晰的变化时(如图 8(a) 所示), 原来出行经过封闭道路的出行者, 他们的出发时间模式却有着剧烈的变化(如图 8(b) 所示). 因此, 由于高速公路施工作业区的原因, 增加的路段延误必然导致出行者更早出发.



(a) 对所有出行者



(b) 对原本出行通过封闭道路的被选择出行者

图 8 上午高峰时期出发时间模式的变化

Fig.8 Changes in departure time pattern during morning peak hours

图 9 展示了原始出发与实际出发之间平均时间差的变化. 在调整后的最后一次迭代过程中, 所有出行者和被选择出行者平均转移的出发时间分别是 59 s 和 229 s. 因为被选择出行者直接并显著受到高速公路封闭事件的影响, 所以他们的出发时间差在早期远高于整体平均水平. 随着时间的推移差别缩小, 并从第 12 d 开始出发时间差变化不大, 这主要是由于出行者所调整的出行路径趋于稳定.

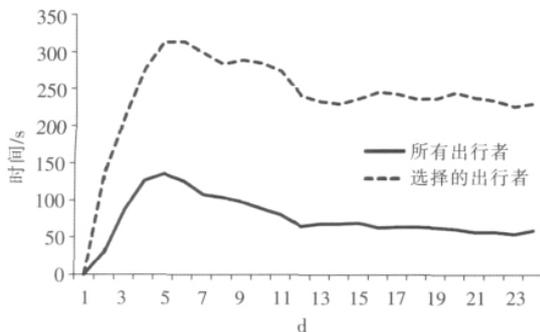


图 9 相对于原始出发时间的出发时间调整

Fig.9 Departure time adjustments compared to the original departure time

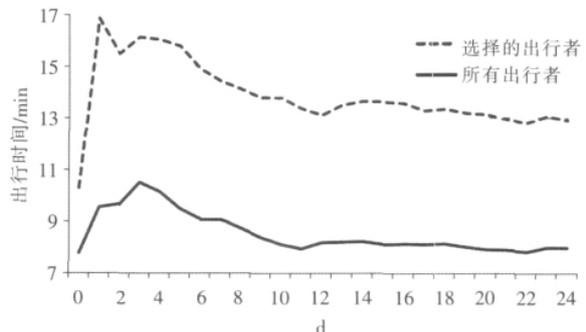


图 10 平均出行时间的变化

Fig.10 Changes in average travel time

4.3 平均出行时间上的变化

图 10 比较了平均出行时间上的变化. 作为整个路网运行的性能指标, 由于施工区的原因, 早期的平均出行时间大幅增加, 但随着迭代过程的进行, 它们逐渐趋于稳定. 开始道路施工之前, 所有出行者和被选择

出行者的平均出行时间在分析路网中分别是 7.78 和 10.29 min. 第一次迭代过程完成后, 出行时间分别增长了 22.7% 和 63.8%. 执行最后一次迭代后, 出行时间变成 7.99 和 12.90 min, 与原始出行时间相比, 它们分别增长了 2.7% 和 25.4%.

表 2 对高速公路施工之前和之后的出行时间进行了比较. 结果显示, 顺序出发时间与路径选择模型比纯粹的动态用户均衡模型估计的出行时间要少. 这可能是因为在寻找最优出发时间和出行路径, 以满足动态用户均衡情形下相同的到达时间. 这也显示, 一个仅基于路径选择的均衡模型可能过高估计施工区的延误影响.

表 2 平均出行时间的比较

Table 2 Comparison of average travel time

| | 没有施工区 | 道路施工区 | |
|----------------|-------|--------|-----------|
| | | 只有路径选择 | 出发时间与路径选择 |
| 所有出行者/min | 7.78 | 8.18 | 7.99 |
| 由于施工区增加的出行时间/% | | 5.10% | 2.70% |
| 被选择出行者/min | 10.29 | 13.64 | 12.9 |
| 由于施工区增加的出行时间/% | | 32.60% | 25.40% |

5 结论与展望

针对任何成因的城市交通拥挤都直接影响到出行者出发时间和出行路径的选择问题, 本文通过在 TRANSIMS 建模框架下额外引入一个简单的出发时间选择过程, 提出了一种顺序出发时间与路径选择模型, 并将其应用到美国 Detroit 市区的大使桥门户重建项目, 以评价道路施工作业区对出行者出发时间的转移影响. 分析结果显示, 相对于出发时间与路径选择模型, 只有路径选择能力的均衡模型可能过高估计了道路施工区的延误作用.

虽然基于 TRANSIMS 的顺序出发时间与路径选择模型在评价道路施工区对周围出行者出发时间转移的影响中取得了一定的成果, 但本文的研究并未涉及顺序模型和同时出发时间与路径选择模型之间的性能对比分析, 因此这将是作者下一步需要开展的研究工作. 此外, 采用 TRANSIMS 对道路施工区的流动性影响以及出行者出行模式的变化进行进一步研究, 也是未来研究的方向.

致谢 感谢美国普渡大学土木工程系 CAI Hubo 助理教授和美国西密歇根大学土木与建筑工程系 OH Jun-Seok 副教授在论文写作与修改过程中的鼓励与帮助.

[参考文献]

- [1] Hendrickson C, Plank K. The flexible of departure times for work trips [J]. Transportation Research Part A, 1984, 18(1): 25-36.
- [2] Ziliaskopoulos A K, Rao L. A simultaneous route and departure time choice equilibrium model on dynamic network [J]. International Transactions in Operational Research, 1999, 6(1): 21-37.
- [3] 胡文君. 基于动态用户均衡的同时路径和出发时间选择模型 [J]. 公路交通科技, 2011, 28(2): 103-110.
- [4] Ran B, Boyce D. Modeling dynamic transportation networks [M] // An Intelligent Transportation System Oriented Approach. Heidelberg: Springer-Verlag, 1996.
- [5] Chen H K, Chang M S. Dynamic user-optimal departure time/route choice with hard time-windows [J]. Journal of Transportation Engineering-ASCE, 2000, 126: 413-418.
- [6] 任华玲, 高自友. 考虑出发时间选择的动态用户最优模型 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(3): 83-89.
- [7] Huang H J, Lam W H K. Modeling and solving the dynamic user equilibrium route and departure time choice problem in network with queues [J]. Transportation Research Part B, 2002, 36(3): 253-273.
- [8] Szeto W Y, Hong K L. A cell-based simultaneous route and departure time choice model with elastic demand [J]. Transportation Research Part B, 2004, 38(7): 593-612.
- [9] 李曙光, 白秋产, 周庆华. 具有变需求的多模式随机动态同时的路径和出发时间问题研究 [J]. 公路交通科技, 2007, 24(8): 128-131.
- [10] 龙建成, 高自友, 任华玲. 基于动态用户最优出发时间和路径选择的组合模型研究 [J]. 中国科技论文在线, 2009, 2(10): 1 015-1 022.

[责任编辑: 丁 蓉]