

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2016.08.019

多源出行信息影响下的路径选择行为仿真

戢晓峰, 张玲, 冯川

(昆明理工大学 交通工程学院, 云南 昆明 650500)

摘要: 为获取多源出行信息影响下的驾驶员路径选择行为特征, 分析了驾驶员主观行程时间预测的特征, 建立了多源出行信息对主观行程时间预测的影响模型。基于大型驾驶模拟仿真系统设计了包含交通广播、可变信息板的多源出行信息场景, 要求驾驶员搜寻出行信息并以行程时间最短为目标完成驾驶试验任务, 从而获取不同信息场景下的路径选择行为特征。结果表明: 单一交通广播的信息场景中, 平均行程时间最长, 主观行程时间预测精度较差, 但交通广播能够帮助驾驶员避开延误严重的路段; 单一可变信息板的信息场景中, 平均行程时间的离散程度大, 但主观行程时间预测精度较高, 可变信息板的信息服务范围有限; 交通广播与可变信息板组成的多源出行信息场景中, 行程时间方差最小, 主观行程时间预测精度明显提高, 整体驾驶绩效优于单一信息源。

关键词: 智能交通系统; 路径选择行为特征; 仿真; 多源出行信息; 驾驶模拟; 行程时间预测

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2016) 08-0127-06

Simulation of Route Choice Behavior under Influence of Multi-source Travel Information

Ji Xiao-feng, ZHANG Ling, FENG Chuan

(School of Transportation Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan 650500, China)

Abstract: In order to obtain the drivers' route choice behavior characteristics under the influence of the multi-source travel information environment, the features of drivers' subjective travel time prediction are analyzed, and the model of multi-source travel information impacting on the prediction is established. Different scenarios with multi-resource travel information such as traffic radio and variable message signs (VMS) are designed based on large driving simulation system. Then, the drivers are asked to search travel information and perform driving test task at the minimum travel time to obtain the route choice behavior characteristics under different scenarios. The result shows that (1) the scenario only including traffic radio has the maximum average travel time and the lower accuracy of subjective prediction about travel time, but traffic radio prevents drivers from encountering the route of serious delay; (2) the scenario only with VMS has the higher discrete degree of average travel time but accuracy in subjective travel time prediction, and presents limited service range; (3) the scenario with traffic radio and VMS can improve the accuracy of the prediction significantly of subjective travel time and has the minimum variance of travel time, and the drivers perform better than that with a single source.

Key words: ITS; route choice behavior characteristic; simulation; multi-source travel information; driving simulation; travel time prediction

收稿日期: 2015-08-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61263025)

作者简介: 戢晓峰 (1982-), 男, 湖北随州人, 博士, 教授. (yiluxinshi@sina.com)

0 引言

随着 ATIS 的快速发展,通过交通广播、可变信息板 (Variable Message Sign, VMS)、车载 GPS 等多种方式向驾驶员发布动态、个性化的出行信息已成为现实,但其服务覆盖范围、关联区域、信息类型以及信息更新周期均存在巨大差异,使得驾驶员面临一个多源、异构、动态的出行信息环境。出行信息是驾驶员出行决策的重要依据,高效的出行信息服务能够引导驾驶员合理选择路径,提高出行效率。因此,分析多源出行信息下的驾驶员路径选择行为特征显得尤为重要。然而,已有研究大多关注于特定类型的出行信息对出行行为的影响,如 Katsikopoulos 等^[1]通过分组对比试验,验证了认知负荷对驾驶员路径选择行为的实际影响,并指出驾驶仿真试验是采集真实环境中驾驶行为数据的最佳途径;Chorus^[2]通过构建多模式出行信息下的出行仿真器,验证了出行信息对驾驶员实际路径选择的影响;李春燕等^[3]在考虑实时信息及出行者出行经验差异的基础上,对出行前信息提供条件下的驾驶员路径选择行为进行了研究;钟连德等^[4]将驾驶模拟器作为试验平台,通过搭建不同左侧路肩宽度的模拟驾驶场景,研究了左侧路肩宽度对驾驶员出行信息搜寻行为的影响;戢晓峰^[5-6]、魏雪梅等^[7]探讨了驾驶员的出行信息认知模式,并分析了驾驶员的出行信息搜寻行为特征,指出驾驶员对出行信息的认知及信息源的选择是影响搜寻行为特征的重要因素;王卫卫等^[8]采用 SP 调查分析了 VMS 对路径选择行为的影响,指出驾驶风格、出行时间及 VMS 可信度是影响路径选择的主要因素;曾松等^[9]通过驾驶员调查和计算机仿真测试等试验分析方法研究了驾驶员的路径选择模式,探讨了行程时间信息使驾驶员由常用路线改换到其他路线上的倾向性;Bogers 等^[10]通过简单的场景设计进行仿真试验,探讨了途中信息服务、学习能力、习性等因素对驾驶员路径选择行为的影响;Rong^[11]通过建立 Probit 模型分析了出发前信息对驾驶员确定出发时间和路径选择的影响。

显然,相关研究对多源出行信息影响下的出行行为缺乏关注,研究方法主要集中于实地观察统计和 SP 调查,而仿真研究相对较为匮乏,且对微观出行信息的仿真界面缺乏考虑。因此,本文在分析驾驶员主观行程时间预测的基础上,基于大型驾驶模拟器开发不同的信息场景,开展以行程时间最短为

目标的驾驶仿真试验,以获取多源出行信息影响下的驾驶员路径选择行为特征。

1 多源出行信息对路径选择行为的影响

1.1 主观行程时间预测

主观行程时间预测是驾驶员出行决策时的重要环节,预测结果对出行决策具有决定性作用。主观行程时间预测是驾驶员根据自身路网认知、出行信息搜寻等,对路径或路段的行程时间进行预测。显然,这一过程是路径选择的子过程,可描述为:

$$M = F(P, I, C), \quad (1)$$

式中, M 为主观预测行程时间; P 为出行目的; I 为出行信息; C 为路网认知状况。

出行信息是主观行程时间预测的重要依据,不同的出行信息内容、质量将直接影响主观行程时间的预测精度。驾驶员的主观行程时间预测通常是将出行信息与出行经验结合,除个体经验外,出行信息内容包括 VMS、手机 APP、交通广播发布的交通状态信息。

在多源出行信息下,驾驶员的路径选择受到出行目的、出行经验、认知能力以及出行信息内容等多个因素的影响,建立出行信息对主观行程时间预测的影响模型,如图 1 所示。

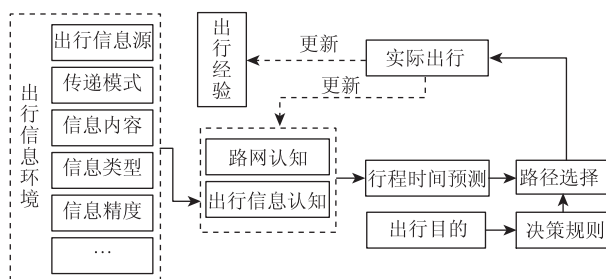


图1 多源出行信息对主观行程时间预测的影响模型

Fig. 1 Model of multi-source travel information impacting on subjective travel time prediction

1.2 基于主观行程时间预测的路径选择

关于路段与路径行程时间,有如下关系:

$$t_k^{rs} = \sum_a t_a \delta_{a,k}^{rs}, \quad \forall k \in K_{rs}, \quad \forall r \in R, \quad \forall s \in S, \quad (2)$$

式中, t_a 为弧 a 的行程时间预测值, $a \in A$; A 为网络有向弧(路段)的集合; r 为一个起始节点, $r \in R$; R 为产生出行的起始节点的集合, $R \in N$; N 为网络节点的集合; s 为一个终止节点, $s \in S$; S 为吸收出行的终止节点的集合, $S \in N$; K_{rs} 为连接 O-D 对 $r-s$

的所有路径的集合; t_k^{rs} 为 O-D 对 $r-s$ 之间路径 k 的行程时间预测值, $k \in K_{rs}$; δ 为 0-1 变量, $\delta_{a,k}^{rs}$ 表示有效路段 a 在连接 O-D 对 $r-s$ 的路径 k 上, 其值为 1, 否则为 0。

出行信息能够帮助驾驶员减少对交通的不确定性, 在出行决策中缩小驾驶员的路径选择范围。通过分析多源出行信息对主观行程时间预测的影响可以发现, 对于一个既定的 O-D 对 $r-s$, 决策之初在路网中存在一个可供驾驶员选择的路径集合, 称为有效备选路径集 V_{rs} , $V_{rs} \in K_{rs}$ 。有效备选路径集中的路径 v 则相应称作有效路径, $v \in V_{rs}$, 有效路径由有效路段 a 连接而成。在判定路段 a 是否为有效路段之前, 先对路段 a 的起点 i 和终点 j 设定两个指标 $r(i)$ 和 $s(j)$, 其中 $r(i)$ 为路段 a 起点 i 到出行起点 r 的最短出行时间, $s(j)$ 为路段 a 终点 j 到出行终点 s 的最短出行时间, 当 $r(i) < r(j)$ 且 $s(i) > s(j)$ 时, 路段 a 才为有效路段。

实际出行中, 驾驶员偏好于选择 V_{rs} 中的一部分路径作为默认行驶路径, 这一部分默认行驶路径的集合被称为偏好路径集 H_{rs} , $H_{rs} \in V_{rs}$ 。在出行信息影响下, 驾驶员借助出行信息提高路径行程时间的预测精度, 缩小路径选择范围, 得到优化备选路径集 U_{rs} , $U_{rs} \in K_{rs}$ 。最后, 在优化备选路径集 U_{rs} 中选择最优路径方案。在以行程时间最短为目标的出行决策中, 优化备选路径集 U_{rs} 内应存在行程时间预测最短的路径:

$$\min(t_k^{rs}) = t_v^{rs} = \sum_a t_a \delta_{a,v}^{rs},$$

$$\forall k \in K_{rs}, \forall v \in V_{rs}, \forall r \in R, \forall s \in S, \quad (3)$$

式中, δ 为 0-1 变量, $\delta_{a,v}^{rs} = 1$ 表示有效路段 a 在连接 O-D 对 $r-s$ 的有效路径 v 上, $\delta_{a,v}^{rs} = 1$, 否则 $\delta_{a,v}^{rs} = 0$ 。

2 多源出行信息下的路径选择行为仿真

2.1 试验设计与实施

本文的驾驶仿真试验采用昆明理工大学自主开发的驾驶模拟系统平台, 该驾驶模拟系统平台是一个面向交通行为研究的开放型驾驶模拟系统, 系统由模拟驾驶舱、计算机控制、车辆动力学仿真、计算机图像生成及投影、动态交通仿真和声响 6 个子系统组成。为获取多源出行信息影响下的驾驶员路径选择行为特征, 以早高峰出行为背景, 基于驾驶模拟系统设计了多源出行信息下的路径选择行为试验。

(1) 基础路网设计。为消除路网熟悉程度对驾驶员出行信息认知的影响, 设计了虚构路网对驾驶员进行试验。试验的路网形态为典型的方格式, 包含 2 条环线、4 条干道, 如图 2 所示。其中, 2 条环线中的外环线为双向 4 车道高架路, 内环线为双向 4 车道主干道; 4 条干道中, 有 2 条为双向 4 车道与双向 6 车道混合道路, 其余 2 条全为双向 4 车道。为方便描述, 对路网节点用阿拉伯数字编号。试验模拟早高峰时的交通场景, 路网中可能有交通事故或交通拥堵发生, 一般情况下高峰时段二环高架平均通行速度为 65 ~ 75 km/h, 地面道路平均通行速度为 15 ~ 45 km/h, 在此基础上, 对各路段的里程及路段平均速度进行设置。

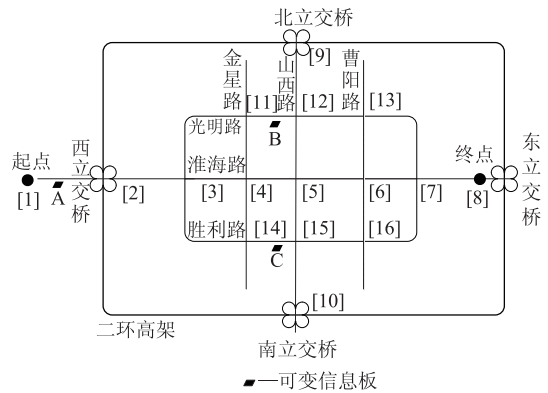


图2 仿真路网

Fig. 2 Road network for simulation

(2) 场景设计。以构建的路网为基础场景, 在场景中布置相应的城市景观, 并通过编写交通流程序实现交通流仿真, 以路网中的车流速度、拥堵排队以及交通事故来模拟早高峰时段的交通系统, 如图 3 所示。为获取多源出行信息下的驾驶员路径选择行为特征, 试验共设置 3 个出行信息场景, 场景 1 与场景 2 分别只能通过交通广播与 VMS 获取出行信息, 场景 3 则包含交通广播与 VMS 两种出行信息源, 其中交通广播和 VMS 的信息设置如表 1 所示。试验要求驾驶员利用场景中的信息源搜寻出行信息, 以行程时间最短为目标完成驾驶。

(3) 受试驾驶员。共招募 30 名本地驾驶员作为本次试验的受试者, 年龄分布于 24 ~ 49 周岁; 驾龄分布于 3 ~ 19 a; 其中男性受试者 22 名, 女性受试者 8 名。为了确保正式试验的可操作性和数据的有效性, 随机选取 9 名受试者进行预试验, 其中每个场景分别安排 3 名受试者。预试验结果表明, 试验设计基本符合试验要求, 但受试者存在迷路、信息源认知不足等问题。因此, 为保证正式试验中驾驶



图 3 多源出行信息试验场景的动态视景

Fig. 3 Dynamic visuals under multi-source travel information test scenarios

表 1 试验场景中的动态信息设置

Tab. 1 Dynamic information setting in test scenarios

信息源	内容	功能	实现途径
交通广播	二环高架路由西向东方向南立交桥附近有车辆擦碰事故, 占用了左车道; 淮海路由西向东方向淮海路与胜利路交叉口以东行车状况差。	播报路网交通情况	在动态交通流场景内设置, 通过收音机实现广播播放。
	二环高架路由西向东方向拥堵, 淮海路由西向东方向淮海路与胜利路交叉口以东行车状况差。	显示前方小范围路网	以图文混合形式在场景内设置, 分别用红色、黄色与绿色表示道路通行速度。
VMS	光明路由西向东方向曹阳路口至淮海路口段行车速度慢。	小范围路网交通情况	以图文混合形式在场景内设置, 分别用红色、黄色与绿色表示道路通行速度。
VMS - A	胜利路由西向东方向山西路口至曹阳路口段行车状况差。	小范围路网交通情况	以图文混合形式在场景内设置, 分别用红色、黄色与绿色表示道路通行速度。

员能利用不同出行信息场景中的信息源顺利从起点驾驶至终点, 在开展正式试验前, 要求 30 名招募的受试者认真熟悉路网, 并对路网熟悉程度进行考核, 以保证所有受试者对试验路网的程度一致。

(4) 试验步骤。试验实施步骤如下:

第 1 步: 将试验引导语与路网基本信息发放给受试者, 告知受试者如何按照要求完成试验。

第 2 步: 开展模拟驾驶试验, 每组信息场景安排 10 名受试者试验, 驾驶模拟系统同步记录驾驶操作数据。

第 3 步: 受试驾驶员根据模拟驾驶情况填写试验问卷。

2.2 试验结果分析

在 3 个出行信息场景中, 静态路网结构与动态交通流状态一致, 所有受试者通过学习试验路网以

保证静态路网的认知程度一致。场景中的事故和拥堵均通过场景中的动态信息源以各自的发布形式告知受试者, 保证 3 个场景中的受试者都能获得实时路况信息, 即在以行程时间最短为目标的路径选择行为中, 不同出行信息场景中受试者的行为差异只与信息场景中的信息源有关。

2.2.1 行程时间特征分析

依据驾驶模拟系统输出的数据, 对行程时间按升序排列分析得到不同场景下受试者的行程时间, 如表 2 和图 4 所示。场景 1 的平均行程时间最长; 场景 2 的平均行程时间方差最大; 场景 3 的平均行程时间最短, 同时行程时间方差也最小。对比场景 1 与场景 2 发现, 两个场景的平均行程时间相差不大, 但是场景 1 的行程时间分布较集中, 而场景 2 的行程时间波动较大。场景 3 的受试者驾驶绩效明显优于场景 1 与场景 2。

表 2 不同出行信息场景下的受试者行程时间均值及方差

Tab. 2 Means and variances of travel time of examinees under different travel information scenarios

场景	行程时间均值/min	行程时间方差
1	13.91	2.27
2	13.09	3.92
3	10.57	1.69

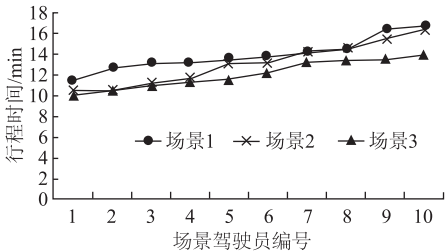


图 4 不同出行信息场景下的受试者行程时间

Fig. 4 Travel time of examinees under different travel information scenarios

(1) 视觉型出行信息效用整体优于听觉型,但视觉型出行信息对驾驶员的效用差异显著。交通广播所发布的出行信息主要为听觉型信息,而VMS发布的出行信息主要表现为视觉型。包含VMS的场景2中驾驶员对行程时间预测的方差较大,在一定程度上说明了视觉型出行信息对驾驶员的效用差异较大。但交通广播与VMS场景下的行程时间预测均值表明VMS的效用要高于交通广播,即视觉型出行信息对交通状态的阐述作用明显优于听觉型。

(2) 多源出行信息可以产生互补作用,对出行者路径选择效益显著。交通广播播放了拥堵排队与事故信息,帮助驾驶员在有效备选路径集中排除延误严重的路径,而VMS发布的分级速度信息则使得驾驶员进一步缩小选择范围,更有益于驾驶员寻找最优路径,故交通广播与VMS并存的出行信息场景的信息效益最大。

2.2.2 路径选择特征分析

通过分析驾驶模拟系统输出的试验数据,得到3种不同出行信息场景中受试者的路径选择,如表3所示。基于试验设计参数与动态交通流,路径[1] - [2] - [3] - [11] - [12] - [13] - [6] - [7] - [8]是最优行驶路径。进一步考量试验中驾驶员对严重延误路段和行程时间最短的最优路径的选择结果,可以发现,场景1没有驾驶员选择最优行驶路径,同时也没有驾驶员选择被拥堵及事故延误的路段;场景2有驾驶员选择最优路径完成驾驶,但也有驾驶员选择了发生拥堵的路段;场景3所有驾驶员都避开了发生拥堵及事故的路段,且有5名驾驶员选择了最优路径。

(1) 场景1中交通广播提供的出行信息使受试者有效避开了延误严重的路段。由于其提供的出行信息以事故与拥堵排队信息居多,但在交通广播不播报信息的路段上受试者难以预测行程时间,因此受试者只是删除了优化备选路径集中延误时间长的路径,却难以从优化备选路径集中确定最优路径。

(2) VMS提供的出行信息帮助受试者提高了行程时间预测精度,找到了最优行驶路径。场景2中VMS提供的出行信息是局部路网速度的分级状态,即表示速度的固定区间值,其分级的精细程度将会影响路段速度预测。如试验中,即使从北二环行驶至东二环需要排队等待通行,但VMS上该路段仍然显示畅通状态,导致受试者选择该路段并造成延误。如果提高场景2中VMS的分级精细化程度,受试者避开拥堵路段的概率将提升。显然,VMS的效益除

受其设置位置及数量的影响外,也与速度分级的精细程度密切相关。

表3 不同出行信息场景下的路径选择

Tab. 3 Route choice result under different travel information scenarios

场景	动态信息源	线路	选择人数
1	交通广播	[1] - [2] - [3] - [14] - [15] - [5] - [6] - [7] - [8]	3
		[1] - [2] - [3] - [14] - [15] - [10] - [8]	2
		[1] - [2] - [3] - [11] - [12] - [5] - [6] - [7] - [8]	1
		[1] - [2] - [3] - [11] - [12] - [13] - [7] - [8]	4
2	VMS	[1] - [2] - [3] - [11] - [12] - [9] - [8]	2
		[1] - [2] - [3] - [11] - [12] - [13] - [6] - [7] - [8]	3
		[1] - [2] - [3] - [14] - [15] - [5] - [6] - [7] - [8]	3
		[1] - [2] - [3] - [14] - [15] - [10] - [8]	2
3	交通广播与VMS	[1] - [2] - [3] - [11] - [12] - [13] - [6] - [7] - [8]	5
		[1] - [2] - [3] - [14] - [15] - [5] - [6] - [7] - [8]	3
		[1] - [2] - [3] - [14] - [15] - [10] - [8]	2

(3) 交通广播与VMS并存的出行信息环境中,受试者找到最优路径的概率大于场景1和场景2,主要是因为交通广播提供的出行信息帮助受试者避开延误严重路段,VMS则帮助受试者提高了行程时间预测精度,大幅提高了受试者找到最优路径的概率。这表明多源出行信息下的驾驶员更易于找到最优路径。

3 结论

从驾驶员角度解析了主观行程时间预测的内涵特征,建立了出行信息对主观行程时间预测影响的概念模型。基于大型驾驶模拟系统设计并开展了多源出行信息影响下的路径选择行为仿真试验。仿真结果表明,单一交通广播的信息场景中,平均行程时间最长,主观行程时间预测精度较差,但交通广

播能够帮助驾驶员避开延误严重的路段;单一 VMS 的信息场景中,平均行程时间的离散程度大,但主观行程时间预测精度较高,可变信息板的信息服务范围有限;交通广播与 VMS 组成的多源出行信息场景中,行程时间方差最小,主观行程时间预测精度明显提高,整体驾驶绩效优于单一信息源。

参考文献:

References:

- [1] KATSIKOPOULOS K V, DUSE-ANTHONY Y, FISHER D L, et al. The Framing of Drivers' Route Choices When Travel Time Information Is Provided under Varying Degrees of Cognitive Load [J]. Human Factors, 2000, 42 (3): 470 - 481.
- [2] CHORUS C G, MOLIN E J E, ARENTZ T A, et al. Validation of a Multimodal Travel Simulator with Travel Information Provision [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2007, 15 (3): 191 - 207.
- [3] LI Chun-yan, CHEN Jun, YE Xiao-fei, et al. Modeling Commuters' Route Choice Behavior under Pre-trip Information System [J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2012, 28 (3): 344 - 348.
- [4] 钟连德, 赵晓华, 丁罕, 等. 无限速标志条件下左侧路肩宽度对驾驶员综合影响的试验研究 [J]. 公路交通科技, 2015, 32 (1): 133 - 139.
ZHONG Lian-de, ZHAO Xiao-hua, DING Han, et al. Experimental Research on Safety Impact of Inside Shoulder Width on Drivers without Speed Limitation [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2015, 32 (1): 133 - 139.
- [5] 戢晓峰, 魏雪梅. 出行信息影响下驾驶员任务集聚认知模式研究 [J]. 计算机工程与应用, 2013, 49 (13): 21 - 25.
JI Xiao-feng, WEI Xue-mei. Task Concentration Cognition Mode of Drivers under Travel Information [J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 49 (13): 21 - 25.
- [6] 戢晓峰, 冯川, 郭凤香. ATIS 环境下驾驶员认知负荷研究进展 [J]. 安全与环境学报, 2015, 15 (3): 82 - 88.
JI Xiao-feng, FENG Chuan, GUO Feng-xiang. Research Advances in Vehicle Drivers' Cognitive Load under ATIS [J]. Journal of Safety and Environment, 2015, 15 (3): 82 - 88.
- [7] 魏雪梅, 戢晓峰, 陈方. 基于 SEM 的驾驶员出行信息搜寻行为分析 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12 (3): 174 - 179.
WEI Xue-mei, JI Xiao-feng, CHEN Fang. Drivers' Travel Information Searching Behavior Study with Structural Equation Modeling [J]. Journal of Transportation System Engineering and Information Technology, 2012, 12 (3): 174 - 179.
- [8] 王卫卫, 赵小梅, 李新刚, 等. VMS 对驾驶员路径选择影响的实证研究与建模 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13 (3): 60 - 64.
WANG Wei-wei, ZHAO Xiao-mei, LI Xin-gang, et al. Empirical Study and Modeling of Variable Message Signs on Route Choice Behavior [J]. Journal of Transportation System Engineering and Information Technology, 2013, 13 (3): 60 - 64.
- [9] 曾松, 史春华, 杨晓光. 基于试验分析的驾驶员路线选择模式研究 [J]. 公路交通科技, 2002, 19 (4): 85 - 88.
ZENG Song, SHI Chun-hua, YANG Xiao-guang. A Route Choice Model Based on Experimental Analysis [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2002, 19 (4): 85 - 88.
- [10] BOGERS E A I, VITI F, HOOGENDOORN S P. Joint Modeling of Advanced Travel Information Service, Habit, and Learning Impacts on Route Choice by Laboratory Simulator Experiments [J]. Transportation Research Record, 2005, 1926: 189 - 197.
- [11] JOU R C. Modeling The Impact of Pre-trip Information on Commuter Departure Time and Rout Choice [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2001, 35 (10): 887 - 902.