

文章编号:1007-6735(2012)03-0257-06

# 图状路况信息对驾驶员择路行为影响的研究进展

干宏程

(上海理工大学 超网络研究中心, 上海 200093)

**摘要:** 随着以地图形式显示道路网交通状态的图形式可变情报板在城市交通管理中的日益普及, 探索图状路况信息对驾驶员择路行为的影响已成为驾驶员对实时交通信息的响应这一研究领域的一个前沿方向. 本文从行为数据获取和行为建模两个方面回顾了国内外图状路况信息影响下驾驶员择路行为的研究成果, 指出了以往研究的不足和图状路况信息影响下择路行为研究的发展趋势. 介绍了笔者在该研究方向的一些最新进展.

**关键词:** 图状路况信息; 路径选择; 实验设计; 交通流模型; 重复观测; 不均质性  
**中图分类号:** U 491      **文献标志码:** A

## Review and Developments of the Study on Driver Route Choice Response to Graphical Route Information

GAN Hong-cheng

(Center for Supernetworks Research, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** With the increasing popularity of graphical route information panels in transportation management, driver response to graphical route information has become a frontier topic in the field of driver behavior under real time traffic information. A literature review of studies on driver response to graphical route information in aspects of behavioral data collection and behavior modeling was made, the shortcomings of previous studies and the emerging trend were pointed out, and some new developments in this frontier topic were presented. Useful implications and guidance for future research were provided.

**Key words:** graphical route information; route choice; experimental design; traffic flow model; repeated observations; heterogeneity

先进出行者信息系统(ATIS)的诱导效果最终取决于驾驶员对信息作出的路径选择响应. 探索ATIS影响下驾驶员路径选择行为, 一直是智能交

通(ITS)技术逐步应用以来学术界的研究热点和难题. 研究人员试图采用各种科学实验手段获取ATIS影响下的路径选择行为数据, 通过对行为数据的建模

收稿日期: 2012-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51008195); 上海市重点科学建设资助项目(S30504); 上海市教委科研创新资助项目(09YZ205)

作者简介: 干宏程(1978-), 男, 副教授. 研究方向: 交通系统工程、交通规划与管理等. E-mail: hongchenggan@126.com

来分析 ATIS 对路径选择行为的影响,揭示 ATIS 信息对路径选择的影响机理,为更好地设计、运行和评价 ATIS 提供理论依据.由于驾驶员行为的高度复杂性、ATIS 技术的多样性、研究方法的不同、各地交通和人文差异,ATIS 影响下路径选择行为的研究颇有难度,当前还处于初级阶段,完整的理论体系远未形成.

近几年,国际上许多大城市和我国的上海、北京、广州、宁波、杭州及苏州等<sup>[1]</sup>顺应 ITS 的发展趋势,在城市交通管理中采用了能以地图(由发光元件组成的光带)形式显示道路网交通状态的可变信息标志,诱导交通流.本文称这类发布图状路况信息的新型标志为图形式可变情报板(GRIP).GRIP 这一新技术在国内的应用,为我国学者针对 GRIP 开展 ATIS 信息影响下驾驶员路径选择行为的基础性研究提供了很好的契机.

开展 GRIP 信息影响下路径选择行为研究的意义在于:

a. 理论上,对于配置 GRIP 的交通网络,提出 GRIP 信息影响下驾驶员路径选择模型是建立动态交通网络模型和动态交通分配理论的一个重要前提.

b. 实践上,为 GRIP 系统的设计、运行、诱导效益评价等提供技术支撑.例如,对于配置 GRIP 的交通网络,在制定 GRIP 网络布局优化方案、设计 GRIP 信息发布策略、动态预测路网交通流时空分布、评价 GRIP 系统效益,乃至进行 GRIP 诱导与其它控制手段(如匝道控制、动态限速)的集成时,需要运用动态交通网络模型、交通分配和交通仿真等技术,以确保方案科学、经济,充分发挥 ITS 效益.GRIP 信息影响下的路径选择模型是这些技术的核心.

目前,GRIP 影响下路径选择行为已成为驾驶员对 ATIS 信息的响应这一热点研究领域的一个前沿方向.

## 1 研究综述

纵观国内外文献<sup>[2-45]</sup>,GRIP 影响下路径选择行为的专题探索还很少,但是,针对常规 ATIS 信息(如可变情报板的文字信息和车载导航信息)的路径选择行为研究已经不少.本文回顾 GRIP 相关的研究和常规 ATIS 信息相关的研究,探讨以往研究的方法、技术特点和发展动态.

### 1.1 GRIP 影响下路径选择行为的相关研究

国外的大多数研究主要是以优化面板设计或考察驾驶员使用 GRIP 的感受为目的而开展的感知试验和问卷调查.例如,日本的 Hirokazu 和 Mitsuru、Kazuyoshi 和 Tsuyoshi、德国的 Schönfeld 等、荷兰的 Alkim 和 Schenk、Dicke-Ogenia 和 Brookhuis、澳大利亚的 Kloot、英国的 Richards 等的研究工作<sup>[2-8]</sup>.这些工作的研究手段主要有问卷调查(纸质、英特网)、计算机感知试验、虚拟驾车试验及实地调查等.上述研究均发现,驾驶员使用 GRIP 的次数越多,其对 GRIP 可理解性和有用性的评价越高,对 GRIP 的偏好也随之增加.然而,学术界对 GRIP 影响下实际路径选择的调查和分析还很少,仅有日本的 Hato 等<sup>[9]</sup>的研究涉及了 GRIP 影响下实际路径选择的调查.至今,GRIP 影响下路径选择行为建模的专题报道还很少.

国内的研究主要集中在 GRIP 面板设计、GRIP 布局、前置距离确定、交通状态判别方法、监控中心 GRIP 信息发布系统的人机界面设计等内容上<sup>[1,26-30]</sup>,而 GRIP 影响下路径选择行为的专题报道不多.GRIP 信息响应行为数据的获取手段主要是意向调查.干宏程等<sup>[31-32]</sup>针对上海城市快速路上实地存在的 GRIP,利用问卷调查数据,建立了 GRIP 信息、驾驶员个体属性、交通状况等因素与路径选择概率之间关系的 Logit 模型.目前,尚未见到采用动态路径选择模拟试验方法获取 GRIP 信息响应行为数据的文献报道.

### 1.2 针对常规 ATIS 信息的路径选择行为研究

行为数据获取和行为数据分析是学术界探索工作的两个重要方面.路径选择行为数据获取方法主要分为实际行为调查和意向调查(SP Survey)两类.由于驾驶员路径选择的实地试验和观测存在诸如影响试验的不确定和不可控因素多、调查样本量很有限、试验成本较高、试验周期长、公民隐私限制等难点和困难,大多数研究都采用 SP 调查获取行为数据.SP 方法的主要形式有 3 类:a.传统的问卷调查(纸质、计算机、英特网);b.由被试参与的路径选择计算机动态模拟试验;c.驾驶模拟器(类似开真车).其中,问卷调查和路径选择模拟试验是常用的方法,而驾驶模拟器主要用于交通安全和车辆工程方面问题的研究,开发成本昂贵,很少被使用.研究表明,路径选择动态模拟试验能够弥补问卷调查很难为被试提供生动的虚拟出行情境、能提供的信息量有限等缺陷,可以提供较为逼真的虚拟出行情境,获取与实际行为一致的行为数据<sup>[10]</sup>,是一个重要研究方向<sup>[10-18]</sup>.不同路径选择

模拟试验系统的主要差别在于系统所构造的出行情境的细致和逼真程度,例如,路网交通状态和交通信息是预先设定的(恒定或者取某种随机规律)还是由交通流模型驱动的、是否安排驾车任务(通过鼠标或键盘操作)、出行情境人机界面的布局方式、人因工程的运用程度等。出行情境设计的优劣直接影响到所采集行为数据的可靠性,从而影响行为数据的分析结果。路径选择行为数据的分析方法有描述性统计、数理统计、离散选择建模、模糊逻辑推理、多智能模拟等。离散选择建模属于微观经济学范畴,以随机效用理论为基础,能够得到表达交通信息、驾驶员个体属性、交通状况等因素与路径选择概率之间映射关系的概率模型,是发达国家学者常用的建模方法<sup>[19-25]</sup>。然而,以往探索工作中仅有少数研究在建模时考虑了“解释变量影响程度在人群中的不均质性(heterogeneity)”和(或)“同一被试多次观测数据的关联性(correlation of repeated observations)”,以期更精细地解释路径选择的决策机制。

国内的研究主要采用问卷(纸质、计算机、英特网)调查,尚未见有采用动态路径选择模拟试验获取行为数据的文献报道,行为分析手段大多是简单的数理统计,离散选择建模的相关报道不多。干宏程<sup>[33-34]</sup>探索了驾驶员在可变情报板同时提供快速路与地面普通道路行程时间条件下的路径选择行为,利用 SP 问卷数据建立了路径选择 Probit 模型,模型中考虑了行程时间重要性在人群中的不均质性。曾松和杨晓光等<sup>[35]</sup>利用 SP 问卷数据估计了提供行程时间条件下路线选择的 Logit 模型。另一方面,不少学者从宏观网络层面,运用均衡分析、多智能、博弈论、交通流仿真、统计力学等手段,考察信息环境下交通系统的演化和交通效益。例如,黄海军等<sup>[36-39]</sup>、高自友等<sup>[40-42]</sup>、安实等<sup>[43]</sup>、杨晓光等<sup>[44]</sup>、李克平等<sup>[45]</sup>的工作。这些研究的重点虽然不是 GRIP 的驾驶员路径选择行为调查和建模,但是,相关成果对 ATIS 设计、运营、评价等具有很好的指导和启示意义。此外,这些研究(因侧重点不在驾驶员个体行为建模上)本质上是在假设出行者的信息响应规则前提下进行的,这从另一方面也显示了驾驶员信息路径选择行为建模的重要性,建模研究成果与以往工作有很好的互补性。

## 2 以往研究的不足及今后研究的发展趋势

国内外以建立 GRIP 影响下的路径选择模型为

目的的专题探索还很少,且主要依赖 SP 问卷调查获取 GRIP 信息影响下的行为数据,因而尚未能够充分地解析 GRIP 信息、驾驶员个体属性、感知特性、交通状况等因素与路径选择概率之间的映射关系。然而,常规 ATIS 信息影响下路径选择行为的探索已经不少,相关成果值得借鉴。从国际趋势看,考虑开发成本和周期、试验难度、时间、数据可靠性、人力、物力等因素,采用由被试参与的路径选择模拟试验方法获取 GRIP 影响下的路径选择行为数据,采用离散选择建模分析 GRIP 对路径选择的影响,是探索 GRIP 信息影响下路径选择行为的一种有效的科学研究方法。

以往研究提出的 ATIS 信息影响下路径选择模拟试验方法,在出行情境构造上几乎都未采用基于网络交通流模型的交通状态和信息生成机制,并且很少从人因工程角度优化出行情境人机界面的设计,因而影响了出行情境的逼真性和行为数据的可靠性。少量研究(如 Mahmassani 等<sup>[14]</sup>的探索)虽然采用基于网络交通流模型的模拟试验系统,但是,网络交通模型中的路段模型是改进的线性 Greenshield 模型,而线性 Greenshield 模型从目前交通流理论的观点看有较大局限性,在交通管理实践中已很少使用。笔者的课题组认为,交通状态是交通信息的产生源,交通信息是被试出行途中接收到的重要外部刺激,确保交通状态符合网络交通流时空演化规律自然是开发路径选择模拟试验系统时需要重点考虑的。如今,网络交通流模型已经发展得较成熟,计算机速度很快,使用交通流模型生成符合网络交通流时空演化规律的交通状态,使得路径选择模拟试验系统为被试提供的出行情境更加自然和逼真,以确保获取的行为数据更可靠,将是一个趋势。例如,在网络交通流模型中,采用反映交通流理论先进成果的高阶流体模型(high-order continuum model)作为路段模型,更细致地刻画停停走走、冲击波等交通流非线性特征。

以往研究在进行 GRIP 影响下路径选择行为的离散选择建模时,尚未考虑解释变量影响程度在人群中的不均质性和(或)同一被试多次观测数据的关联性。随着微观经济学和离散选择建模在交通科学领域应用的日渐增多和研究人员对学科交叉的日益重视,考虑不均质性和观测数据关联性问题,更精细地考察 GRIP 信息、驾驶员个体属性、感知特性、交通状况等因素与路径选择概率之间的映射关系,从而更科学地解释动态路径选择的决策机制(例如,

在模型中更好地体现驾驶员的学习效应),将是学术研究的必然趋势,也是 ITS 技术日益普及对学术界提出的必然要求。

由以上分析可知,从改进行为数据获取方法和提高行为建模质量两方面入手,探索用于获取 GRIP 影响下路径选择行为数据的基于网络交通流模型的动态模拟试验方法,建立考虑解释变量影响的不均质性和观测数据的关联性的路径选择概率模型,更准确地解析 GRIP 信息、个体属性、感知特性、交通条件等因素与路径选择概率之间的映射关系,揭示 GRIP 对驾驶员路径选择的影响机理,是今后的一个趋势。

### 3 GRIP 影响下择路行为研究的一些新进展

顺应以上趋势,笔者的交通行为研究小组依托国家自然科学基金项目等课题开展了多年的 GRIP 研究<sup>[1,26-28,31-32,46]</sup>,提出一种基于宏观网络交通流模型的、用于获取 GRIP 影响下驾驶员路径选择行为数据的计算机动态模拟试验方法,初步开发了相应的路径选择动态模拟试验系统。该试验系统弥补了以往绝大多数探索工作的不足,运用交通流理论、人因工程、软件工程等多学科知识,采用网络交通流模型驱动的路网交通状态和信息生成机制生成模拟试验系统的出行情境,设计出能够呈现较逼真的交通状况和 GRIP 信息的出行情境人机界面和路径选择模拟试验流程,增强被试的身临其境感受,确保获取的行为数据更可靠。网络交通流模型采用经典的高速道路网交通流仿真模型 METANET<sup>[47]</sup>。运用该系统开展由被试参与的动态路径选择模拟试验,可以获取驾驶员个体属性数据和信息响应行为数据。信息响应行为数据包括驾驶员判读-决策 GRIP 信息的时间和驾驶员对 GRIP 有用性和可理解性的评价等感知行为数据、驾驶员的路径选择决策等。这些行为数据为 GRIP 影响下择路行为模型的建立提供了基础数据。

GRIP 影响下路径选择动态模拟试验系统,基于计算机 Flash 软件、Access 软件开发,使用脚本编程语言 ActionScript 2.0 和 ASP 编写实现。系统利用 Flash 软件制作各种图像、动画、声音素材,营造出逼真的出行情境。出行情境人机界面的截屏

如图 1 所示。从所查阅的文献看,该系统是国际上第一个网络交通流模型驱动的、专门用于获取 GRIP 影响下驾驶员路径选择行为数据的出行选择模拟器(travel choice simulator)。

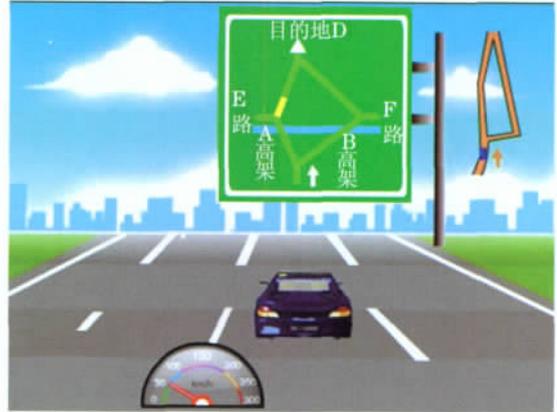


图 1 GRIP 影响下路径选择动态模拟试验系统的人机界面  
Fig. 1 Human-computer interface for the dynamic simulation system of GRIP response

### 4 结束语

GRIP 影响下的驾驶员路径选择行为是当前顺应国际 ITS 发展趋势的一个研究热点,是驾驶员对 ATIS 信息的响应这一研究领域的一个前沿方向。本文从行为数据获取和行为建模两个重要方面回顾了该方向的研究成果,介绍了笔者研究团队在该研究方向上的一些最新进展。希望本文能抛砖引玉,为研究人员开展相关探索工作提供有益启示和借鉴。

致谢:本文工作得到了国家自然科学基金项目的支持。感谢美国西北大学 Hani Mahmassani 教授访问笔者单位期间给予的有益建议。感谢上海理工大学张宁教授对本文成果发表的支持。

参考文献:

- [1] Gan H C, Sun L J, Chen J Y, et al. Advanced traveler information system for metropolitan expressways in Shanghai, China[J]. Transportation Research Record, 2006(1944):35-40.
- [2] Hirokazu M, Sakai M. Graphic information provision system on metropolitan expressway[C]// Proc the 7th World Congress on Intelligent Transportation Systems, 2000.
- [3] Sakamoto K, Sakaino T. Provision of metropolitan expressways information by graphic before entering expressways[C]//Proc the 8th World Congress on

- Intelligent Transportation Systems, 2001.
- [4] Alkim T, Schenk B. Graphic route information[C]// Proc the 8th World Congress on Intelligent Transportation Systems, 2001.
- [5] Schönfeld G, Reischl A, Tsavachidis M. Dynamic driver information goes graphical—a new quality in urban traffic information[C]// Proc the 7th World Congress on Intelligent Transportation Systems, 2000.
- [6] Richards A, McDonald M. Investigation of driver comprehension of traffic information on graphical congestion display panels using a driving simulator[J]. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2004, 4(4): 417–435.
- [7] Dicke-Ogenia M, Brookhuis K. Improved access to cities through travel information on full color information panels [C]// Proc European Transport Conference, 2008; 16–21.
- [8] Kloot G. Melbourne's arterial travel time system [C]// Proc the 6th World Congress on Intelligent Transport Systems, 1999.
- [9] Hato E, Taniguchi M. Incorporating an information acquisition process into a route choice model with multiple information sources[J]. *Transportation Research, Part C*, 1999, 7(2): 109–129.
- [10] Bonsall P, Firmin P, Anderson M, et al. Validating the results of a route choice simulator[J]. *Transportation Research, Part C*, 1997, 5(6): 371–387.
- [11] Adler J L, Recker W W, McNally M G. A conflict model and interactive simulator (FASTCARS) for predicting en-route driver behavior in response to real-time traffic condition information[J]. *Transportation*, 1993, 20(2): 83–106.
- [12] Avery R P, Burghout W, Andreasson I. An interactive tool for collecting traveler behavior information[C]// Proc the 87th Annual Meeting of Transportation Research Board, 2008; 080373.
- [13] Bonsal P W. Traveller behaviour: decision-making in an unpredictable world[J]. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 2004, 8(1): 45–60.
- [14] Chen P, Mahmassani H. A Dynamic interactive simulator for studying commuter behavior under real-time traffic information supply strategies [J]. *Transportation Research Record*, 1993(1413): 12–21.
- [15] Chorus C G, Molin E J, Arentze T A, et al. Validation of a multimodal travel simulator with travel information provision[J]. *Transportation Research, Part C*, 2007, 15(3): 191–207.
- [16] Koutsopoulos H, Lotan T, Yang Q, et al. A driving simulator and its application for modeling route choice in the presence of information[J]. *Transportation Research, Part C*, 1994, 2(2): 91–107.
- [17] Bonsall P, Parry T. Using an interactive route-choice simulator to investigate driver's compliance with route guidance advice [J]. *Transportation Research Record*, 1991(1306): 59–68.
- [18] Koutsopoulos H, Polydoropoulou A, Ben-Akiva M. Travel simulators for data collection on driver behavior in the presence of information [J]. *Transportation Research, Part C*, 1995, 3(3): 143–159.
- [19] Peter S, Ramos J, Pasupathy R. Content of variable message signs and on-line driver behavior[J]. *Transportation Research Record*, 2000(1725): 102–108.
- [20] Lai K, Wong W. SP Approach toward driver comprehension of message formats on VMS[J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2000, 126(3): 221–227.
- [21] Abdel-Aty M, Abdalla M. Modeling drivers diversion from normal routes under ATIS using generalized estimating equations and binomial probit link function [J]. *Transportation*, 2004, 31(3): 327–348.
- [22] Jou R, Lam S, Weng M, et al. Real time traffic information and ITS impacts on route switching behavior of expressway drivers[J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2004, 38(2): 187–223.
- [23] Srinivasan K, Mahmassani H. Analyzing heterogeneity and unobserved structural effects in routeswitching behavior under ATIS; a dynamic kernel logit formulation[J]. *Transportation Research, Part B*, 2003, 37(9): 793–814.
- [24] Chatterjee K, Hounsell N, Firmin P, et al. Driver response to variable message sign information in London [J]. *Transportation Research, Part C*, 2002, 10(2): 149–169.
- [25] Jou R, Lam S, Liu Y, 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.
- [26] Gan H C, Sun L J, Chen J Y, et al. Application of human factors engineering into the ATMS design [C]// Proc the 85th Annual Meeting of Transportation Research Board, 2006; 060063.

- [27] 干宏程,孙立军. 人因工程在先进交通管理系统设计中的应用[J]. 同济大学学报, 2005, 33(10): 1317-1322.
- [28] Gan H C, Sun L J. Advanced traveler information system for metropolitan expressways in Shanghai [C]//Proc 2008 International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals. 2008: 1810-1818.
- [29] 同济大学交通运输工程学院. 上海市高架道路交通监控系统研究及示范工程研究报告[R]. 上海: 上海市市政工程管理处, 2003.
- [30] 杨兆升,王媛,管青,等. 基于人因工程的城市交通诱导系统设计[J]. 中国公共安全: 智能交通, 2006(11): 36-42.
- [31] 干宏程,孙立军,陈建阳. 提供交通信息条件下的途中改道行为研究[J]. 同济大学学报, 2006, 34(11): 1484-1488.
- [32] Gan H C, Ye X, Fan B Q. Drivers' en-route diversion response to graphical variable message sign in Shanghai, China [C]// Proc the 10th International Conference of Applications of Advanced Technologies in Transportation. 2008: 786.
- [33] Gan H C, Ye X, Gao W S. Drivers' en-route diversion decisions under the influence of variable message sign information: an empirical analysis [C]//Proc the 87th Annual Meeting of Transportation Research Board. 2008: 080498.
- [34] 干宏程. VMS 诱导信息影响下的路径选择行为分析[J]. 系统工程, 2008, 26(3): 11-16.
- [35] 曾松,史春华,杨晓光. 基于实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.
- [36] 黄海军,吴文祥. 交通信息对交通行为影响的评价模型[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(10): 81-83.
- [37] 李志纯,黄海军. 先进的旅行者信息系统对出行者选择行为的影响研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(2): 95-99.
- [38] 刘天亮,黄海军. 日常择路行为的多智能体模拟[J]. 物理学报, 2007, 57(11): 6321-6325.
- [39] 吴文祥,黄海军. 平行路径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.
- [40] 许良,高自友. 不确定条件下用户路径选择行为研究述评[J]. 燕山大学学报, 2007, 8(1): 139-142.
- [41] 吴建军,高自友,孙会君. 城市交通网络上个体选择行为的统计动力学特性研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8(2): 69-74.
- [42] 尚华艳,黄海军,高自友. 基于元胞传输模型的实时交通信息设计[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(2): 234-238.
- [43] 安实,崔娜,李静. 基于多智能体博弈的路径选择策略仿真研究[J]. 交通信息与安全, 2009, 27(3): 1-5.
- [44] 杨晓光,伍速锋,云美萍. 日常出行中的交通信息有效性仿真研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(4): 12-14.
- [45] 孙剑,李克平,杨晓光. ATIS 环境下动态多用户路径选择行为仿真研究[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(20): 222-225.
- [46] Gan H C. Graphical route information panel for the urban freeway network in Shanghai, China [J]. IET Intelligent Transport Systems, 2010, 4(3): 212-22.
- [47] Messmer A, Papageorgiou M. METANET: a macroscopic simulation program for motorway networks [J]. Traffic Engineering and Control, 1990, 31(8): 466-470.