

文章编号: 1001-0920(2010)01-0064-05

基于微观行为学信息决策的自治交通模型的研究

矫桂秋¹, 郭晨¹, 胡小军², 覃一宁², 欧训民²

(1. 大连海事大学 信息科学技术学院, 辽宁 大连 116026; 2. 清华大学 低碳能源实验室, 北京 100084)

摘要: 提出一种引入信息决策因子的自治交通模型, 对出行模式和出行道路的选择进行动态控制和优化, 并通过 NetLogo 进行微观行为学仿真, 验证了该模型能实现交通、能源和温室气体排放的优化效果, 对解决现有交通问题具有实用价值。

关键词: 自治交通; 信息决策; 微观行为学; NetLogo 仿真

中图分类号: U491 **文献标识码:** A

Research on self-governing traffic model based on micro behavior information decision

JIAO Gui-qiu¹, GUO Chen¹, HU Xiaojun², QIN Yining², OU Xunmin²

(1. Information Science and Technology College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China; 2. Low Carbon Energy Lab, Tsinghua University, Beijing 100084, China. Correspondent: JIAO Gui-qiu, E-mail: jiaogq@163.com)

Abstract: A self-governing model is proposed, in which an information decision factor is introduced, the travel patterns and choice of the road trip are controlled and optimized dynamically. Micro-behavior simulation with NetLogo verifies that the model can realize the optimization among traffic, energy and greenhouse gases emission and some practical uses for solving the existing traffic problem.

Key words: Self-governing traffic; Information decision; Micro-behavior; NetLogo simulation

1 引言

传统的交通规划常采用出行生成、出行分布、方式选择和交通分配的 4 阶段模型, 以交通小区的平均特性为建模方法, 具有明显的集计特征。所以, 在交通需求和服务水平综合平衡处理方面的应用还存在困难。对此, 国内外学者从下面几种模式进行了大量的研究和改进: 在出行模式方面, 主要是介入机会模型、增长系数模型、重力模型和信息熵模型等^[1-4]; 在道路选择模式方面, 有交通熵模型、生态足迹理论、动态交通分配理论和交通诱导与动态导航模型等^[5-7]; 在交通能源消耗方面, 提出了 ASIF 模型, 即通过交通活动水平、交通结构与能耗强度服务量来计算交通能耗; 在排放方面, 提出了 WTW (矿并到车轮) 的 Greet 模型和 IEA 的全生命周期评价方法, 即考虑从燃料开采、加工、分配, 车辆生产与终端使用的全部的能源消费与排放。但这些方法都必须要在上述问题得到准确预测的基础上才能得到高可信

度的结果。也有学者认为交通系统是复杂开放性巨系统, 交通问题是非线性的、动态的、时变的。不同的个体决策的结果可能差异很大, 具有不确定性, 决策也具有模糊性, 而且城市交通系统在结构、功能, 尤其是行为和演化方面都极为复杂, 因此提出了基于 ABM (Agent Based Modeling) 的复杂性方法进行研究^[8-11]。但是该方法对行为学的采样比较困难, 且高度依赖海量数据的行为选择概率, 对建模水平要求较高, 在应用中具有一定的局限性。

虽然上述模型和方法针对交通问题在各个专业领域都提出了很好的解决思路, 但对于如何使交通系统在活动量、能源消费和排放方面与 GDP“脱钩”, 如何综合解决城市公共交通和私人车辆的混合出行模式, 从而最终打破经济与交通问题发展的必然关系缺乏集成的思路。本文提出的自治交通模型, 通过引入信息决策因子, 达到了交通领域的有序性以及能耗和温室气体排放的优化效果。

收稿日期: 2009-02-01; 修回日期: 2009-06-06.

基金项目: 国家自然科学基金项目(60774046).

作者简介: 矫桂秋(1971—), 女, 吉林德惠人, 副教授, 博士生, 从事交通能源优化与智能交通控制的研究; 郭晨(1956—), 男, 江苏如东人, 教授, 博士生导师, 从事智能控制、船舶自动控制等研究。

2 城市自治交通模型

城市自治交通模型的核心思想是以微观行为学作为研究方向,采用高质量和更大可持续性的交通理论,达到与 GDP 增长脱钩、资源环境气候友好的目的.在方法上通过对公共交通系统、私人交通和出行模式及微观行为的分析,建立包括出行者、交通网络、交通工具、城市交通管理系统和政府等多主体微观行为学仿真模型.该模型以信息决策因子来控制行为选择模式,出行者根据个体自有信息、习惯偏好、引导信息来综合进行交通出行决策(见图 1),以实现交通、能源和排放的优化效果.

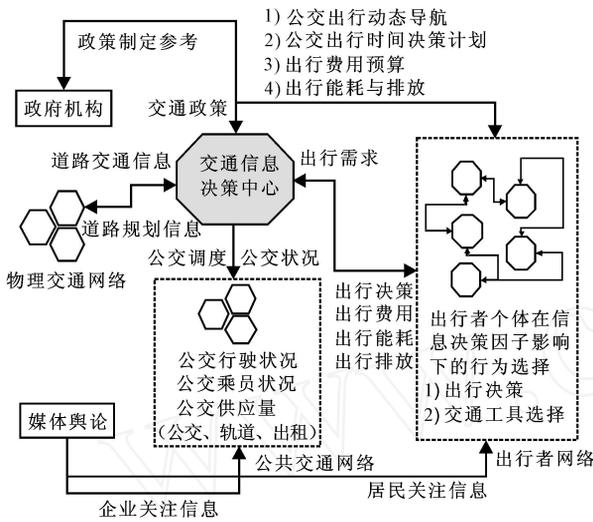


图 1 城市自治交通模型结构图

在城市自治交通模型中,围绕交通信息决策中心的出行决策和公交的供应调度决策是模型的核心,信息决策因子影响下的出行者个体之间的多重同态交互为系统的演化提供动力.与交通领域广泛使用的集计和非集计模型不同,该模型动态基础在于信息引导下的交互.即决策中心通过出行者的目的地需求,以交通政策为导向,以动态道路状况为依据,为出行者提供包括出行策略、出行时间、交通工具选择、出行费用、出行能耗信息、出行排放信息、公交站台 BBS 和 SMS 服务等一整套的交通出行方式解决方案.出行者在每个出行时间点都可以自由享有实时更新的信息,如交通状况、出行经验、社会评价、交通工具等状态信息,同时还可以处于连续、重复和多次的决策环境,从而根据自身需求进行出行决策.所以,出行者在动态反馈的信息决策透明的状态下,在基于时间和价格的经济互动和能耗排放等评价的社会互动中,共同构成了个体出行决策动态的关键动力.

3 城市自治交通模型基本函数

需求驱动是出行者的行为决策基础,决策的内

容包括出行目标、出行时间、出行方式.主体设定出行期望,在可能的出行组合中,因出行费用、舒适度和社会效用等因素产生的信息决策因子可以影响主体行为,从而选择满意出行方案,完成决策过程.在信息决策因子基础上,主体对出行模式的成本费用、主观评价、出行可能的社会评价构成了主体出行决策的三大要素.

假定主体 i 在 t 时刻,第 n 次出行有 k 种出行方案,第 j 种出行方案为

$$TP_{i,t}^{n,j} = TE_{i,t}^{n,j} / \{ TD_{i,t}^{n,j}, TS_{i,t}^{n,j}, TM_{i,t}^{n,j} \}. \quad (1)$$

其中: $TE_{i,t}^{n,j}$ 为获得的出行信息, $TD_{i,t}^{n,j}$ 为出行目标, $TS_{i,t}^{n,j}$ 为出发时间, $TM_{i,t}^{n,j}$ 为出行方式.

设第 j 种出行方案的出行距离为 $\alpha_{i,t}^{n,j}$, 出行时间为 $\beta_{i,t}^{n,j}$, 出行信息为 $\gamma_{i,t}^{n,j}$, 直接成本为 $\delta_{i,t}^{n,j}$, 舒适度为 $f_{i,t}^{n,j}$, 其他主体体验为 $h_{i,t}^{n,j}$, 态度评价为 $\alpha_{i,t}^{n,j}$, 社会评价为 $\delta_{i,t}^{n,j}$, 目的地收益为 $\psi_{i,t}^{n,j}$, 出行分布为 $p_{i,t}^{n,j}$. 其中出行距离、时间、直接成本均为源点和目标点的函数,舒适度和主体体验可按照个体出行历史记录得到,目的地收益体现出行可能带来的选择优势,出行信息作为关键因素体现了城市交通的服务水平.

设时刻 t , 个体 i 考虑使用的私人汽车已使用时间为 t_u , 该辆汽车的寿命周期长度为 t_l , 汽车购买时的价值为 v , 出行提供信息为 e , 出行的磨损为 $w_{i,t}^e$, 燃料费用为 $f_{i,t}^e$, 路桥费为 $g_{i,t}^e$, 停车费为 $r_{i,t}^e$, 则私人汽车出行的直接成本估计 $\hat{c}_{i,t}$ 可表示为

$$\hat{c}_{i,t} = w_{i,t}^e + f_{i,t}^e + g_{i,t}^e + r_{i,t}^e + fs_i^e(v, t_u/t_l) - fr_i^e(v, t_u/t_l). \quad (2)$$

其中: $fs(\cdot)$ 为成本摊薄函数, $fr(\cdot)$ 为价值回收函数,二者均为减函数.成本摊薄计入成本,价值回收为正收益.同理,在经过 m 次组合交通情况下, $ti_{i,t}^e$ 为某次组合票价,出行信息 e 为公交出行提供优化方案,公交出行成本表示为

$$\hat{c}_{i,t}^e = \sum_{k=1}^m k \cdot ti_{i,t}^e. \quad (3)$$

个体态度评价由初始设定值根据获得的出行信息确定,其具体数值表现出个体对不同交通出行方式的整体偏好与依赖.社会评价由参照群体成员的态度和行为加权获得,成员权重大小取决于个体的相对地位及社会倾向,可表示为

$$\begin{aligned} \delta_{i,t}^{n,j} = & \frac{A_{i,t} \cdot \bar{A}_{g,i,t}(TM_{i,t}^{n,j}) + B_{i,t} \cdot \tilde{B}_{g,i,t}(TM_{i,t}^{n,j})}{N} \\ & \frac{1}{\sum_{ii=1}^N (A_{i,t} \cdot A_{ii,t}(TM_{i,t}^{n,j}) + B_{i,t} \cdot B_{ii,t}(TM_{i,t}^{n,j})) \cdot d_{ii,t} \cdot f_{pi}(p_{ii,t} - p_{i,t})}. \quad (4) \end{aligned}$$

其中: d_{ii} 为个体 i 的第 ii 个参照群体成员的亲疏距

离, $f_{pi}(p_{ii,t} - p_{i,t})$ 为地位差值互动函数, $A_{ii,t}(TM_{ii,t}^{n,j})$ 和 $B_{ii,t}(TM_{ii,t}^{n,j})$ 分别为第 ii 个参照成员对出行方式 $TM_{ii,t}^{n,j}$ 的态度及行为。

设个体 i , 时刻 t 的收入水平为 $ic_{i,t}^n$, 第 n 次出行, 第 j 种出行方案的个体评价归一值为

$$P_{i,t}^{n,j} = (\delta_{i,t}^{n,j}, f_{pi}^{n,j}, \eta_{i,t}^{n,j}, a_{i,t}^{n,j}, \delta_{i,t}^{n,j}, ic_{i,t}^n). \quad (5)$$

个体的出行分布是个不确定性问题, 体现在出行距离上的频率分布, 按照熵最大分布函数得出出行分布概率为

$$p_{i,t}^{n,j} = \exp\left(-\frac{1}{k} \sum_{k=1}^n \delta_{i,t}^{n,j}\right). \quad (6)$$

在出行方式的决策过程中, 相应的能源消耗和排放可表示为

$$\begin{aligned} PE_{cm,i,j} &= \sum_k PF_{i,j,k} \times PC_{j,k}, \\ PC_{j,k} &= PC \times e\tilde{s}_j \times e\tilde{s}_{j,k}, \\ CO_{2j,k} &= \{CP_j \times \phi_j - (VOC_{j,k} \times \phi_j + \\ &\quad CO_{j,k} \times \phi_j + CH_{4j,k} \times \phi_j) / \phi_j\}. \end{aligned} \quad (7)$$

其中: $PE_{cm,i,j}$ 表示 j 种过程中能源造成的排放温室气体 i 的总量, $PF_{i,j,k}$ 表示 k 类交通工具由 j 种过程能源驱动产生的温室气体 i 的因子, $PC_{j,k}$ 表示 k 类交通工具在 j 种过程中消耗的交通能源量. PC 是总过程的能耗, $e\tilde{s}_j$ 为总能耗中 j 种能源的比例, $e\tilde{s}_{j,k}$ 是使用 j 种能源的 k 类交通设备的比例. 式中 $CO_{2j,k}$ 表示 k 类交通工具由 j 种过程能源驱动产生二氧化碳的排放因子, CP_j 为 j 种过程能耗的碳潜在排放系数, ϕ_j 表示 j 种过程燃料燃烧时的碳氧化率, $VOC_{j,k}$ 代表 k 类交通工具由 j 种能源驱动运行产生的 VOC(挥发性有机物) 排放因子, ϕ_j 为其含碳量, 相应的 $CO_{j,k}$ 为一氧化碳排放因子, $CH_{4j,k}$ 为甲烷排放因子, ϕ_j 为二氧化碳的转化系数。

个体时间价值、舒适度价值可由调查数据获得. 结合能源排放的环境价值的归一化函数设定为:

社会评价归一值为

$$S_{i,t}^{n,j} = -(s_{i,t}^{n,j}, PE_{cm,i,j});$$

成本费用归一值为

$$C_{i,t}^{n,j} = C^e(\delta_{i,t}^{n,j}, ic_{i,t}^n, PE_{cm,i,j}).$$

按照展望理论, 相对收益的绝对值, 个体更关心其相对参考点的差值. 设个体 i , 时刻 t , 第 n 次出行的个体评价期望为 $\bar{P}_{i,t}^n$, 社会评价期望为 $\bar{S}_{i,t}^n$, 成本费用期望为 $\bar{C}_{i,t}^n$. 则第 j 种出行方案的综合评价值为

$$\begin{aligned} TV_{i,t}^{n,j} &= \mathbf{R}((P_{i,t}^{n,j} - \bar{P}_{i,t}^n), (S_{i,t}^{n,j} - \bar{S}_{i,t}^n), \\ &\quad (C_{i,t}^{n,j} - \bar{C}_{i,t}^n), (p_i, s_i, c_i)). \end{aligned} \quad (8)$$

其中: p_i, s_i, c_i 分别为个体 i 对个体评价、社会评价和成本费用项的权重分配. 在最简单的情形下,

$\mathbf{R}(\cdot)$ 函数可以取做线性形式, 即

$$\begin{aligned} TV_{i,t}^{n,j} &= \\ & p_i \cdot pv(P_{i,t}^{n,j} - \bar{P}_{i,t}^n) + s_i \cdot pv(S_{i,t}^{n,j} - \bar{S}_{i,t}^n) + \\ & c_i \cdot pv(C_{i,t}^{n,j} - \bar{C}_{i,t}^n), \end{aligned} \quad (9)$$

其中 $pv(\cdot)$ 为价值函数, 可参照预期理论的 S 型原点凹函数。

根据有限理性假设, 决策者在决策中通常寻找满意解, 而非最优解. 当某一方案的效用评价大于事先设定的参考标准时, 个体找到满意解, 结束决策过程. 设个体 i , 时刻 t , 第 n 次出行的出行综合满意度要求为 $SA_{T_{i,t}^n}$. 通常可假定个体的出行综合满意度在适应期后相对稳定, 不发生变化。

设第 j 种出行方案的选择参数为 $X_{i,t}^{n,j} \in \{0, 1\}$.

从第 1 种方案开始, 若 $TV_{i,t}^{n,j} \geq SA_{T_{i,t}^n}$, 则 $X_{i,t}^{n,j} = 1$, 个体已找到满意方案 j , 决策结束; 否则, 个体将继续尝试第 $j+1$ 个方案。

若所有方案均不能满足上述条件, 则个体 i 在所有 k 种方案中寻找最优值, 即求解

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{j=1}^k X_{i,t}^{n,j} \cdot TV_{i,t}^{n,j}, \\ & X_{i,t}^{n,j} = 1, X_{i,t}^{n,j} \in \{0, 1\}. \end{aligned}$$

4 城市自治交通模型的仿真

城市自治交通模型仿真是基于微观主体决策的自下向上的城市交通系统多主体仿真模型, 具有微观、异质、交互、动态 4 大特征. 出行者、交通信息决策中心、公交企业等独立决策微观主体间按空间位置及社会关系结成互动网络. 通过引入微观异质主体及其互动机制, 使出行者、公交等微观主体间并行发生信息、态度与行为交互. 而主体及系统状态实时动态更新模型在信息决策引导下, 可以很好诠释交通出行需求与供应的内在动态机理. 与传统计量模型相比, 其能更好地反应系统演化的动态性与复杂性, 以及宏观现象与微观机制之间的关联性, 因而在应对与管理城市交通系统方面能够提供更为有力的帮助。

自治交通仿真模型利用以 Agent Based Model 为理论基础的 NetLogo 平台进行编程仿真. 仿真过程首先进行系统初始设定, 随后各 AGENT 沿时间轴并行、持续互动直至达到预定时间步长, 结束流程. 仿真过程中, 程序提供所需的任何实时状态及过程数据, 加以存储或以图形方式直观显示(如图 2 所示)。

初始设定是对模型中各 AGENT 的初始状态进行赋值, 并对环境进行相应的设定. 在初始设定

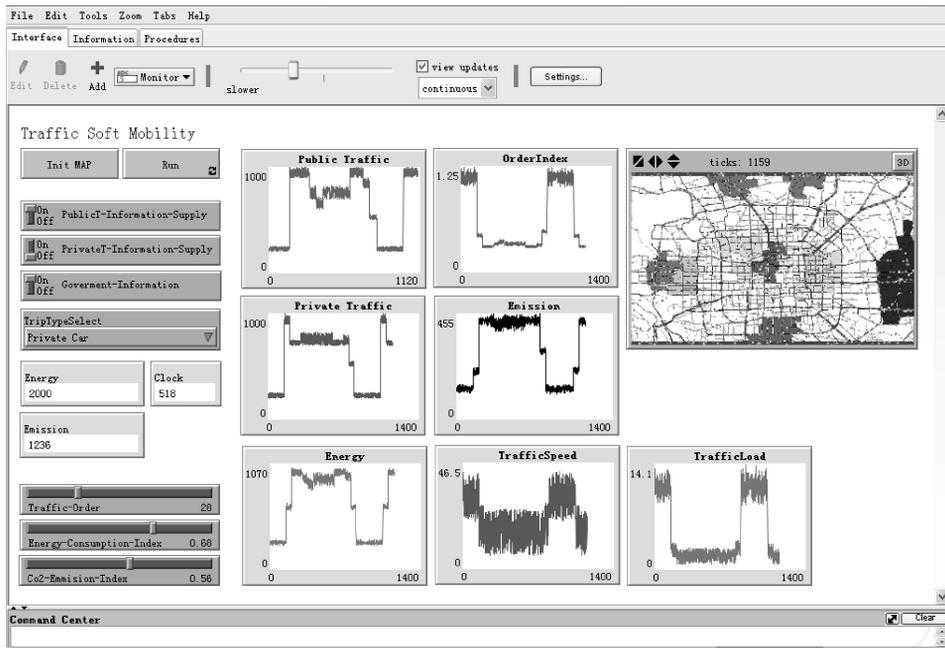


图 2 NetLogo 下的城市自治交通模型仿真结果图

中,首先需要为仿真过程生成虚拟城市,包括其交通节点、道路以及各用地的居住和办公等功能性质。虚拟城市既可以通过实际城市 GIS 信息输入,也可以由模型根据需要由坐标文件生成。随后,按照概率分布,生成所需数量的、特征各异的家庭,包括其成员、年龄、收入、职业等。概率分布可通过问卷调查等多种形式获得。随后将家庭按照统计特征分配到虚拟城市的各居住区中,并指派其首要出行(就业、就读)目的地及其他出行目的地选择空间。在居住、就业给定后,按照家庭的社会分层特征,建立其参照群体,随后对各家庭成员出行特征赋值。在虚拟城市生成后,还需要对道路交通系统进行设定,包括不同出行方式下的道路通行许可、通行能力。在系统中设定的交通信息决策中心,为所有主体提供信息决策并提出参考建议,系统对主体采用决策信息进行结果仿真。系统设定好公共交通服务路段、类型之后即可建立公共交通运营主体,确定其运营线路、服务供应水平等。另外,在初始设定中,还需设定媒体、全部政策供应及其时间表。

在初始设定完成后,程序即可进行仿真。仿真的核心在于 A GENT 之间的并行互动。每个 A GENT 在每时间步长内均按照给定的行为规则与其相关的 A GENT 进行(信息)交互,并更新自身的行为状态。在给定行为规则下,A GENT 之间根据当期提供的信息决策完成交互,更新自身信息,并决定其状态更新,如居民是否更新交通工具、出行目的地及方式选择、公交企业调整公交线路、决定公共交通服务水平等。程序持续互动循环,当系统时间达到预先设定的时间步长时,仿真结束。

程序模拟对公交信息、私人交通信息以及政府媒体信息对主体造成的不同影响。可以发现,当信息决策因子开关打开后,整个出行模式变化趋向于更加有序。私家车主选择公交出行的概率明显增加(浅色为高度依赖私人轿车的车主选择私家车的出行概率,深色为低度依赖私家轿车的车主选择公交出行概率,参见图 3)。仿真结果表明,私家车主在没有信息决策支持的情况下,高度依赖私家车主选择的私家车出行概率为 90.2%左右,而低度依赖私家车主选择的公交出行概率也在 70%左右;而通过信息决策的引导后,二者的概率都在 84.7%左右,体现了良好的行为影响效果。

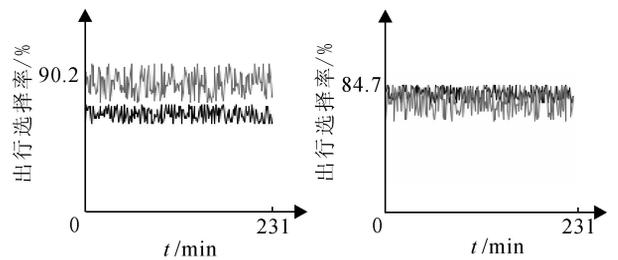


图 3 信息决策引入后对私家车拥有主体出行方式的选择变化

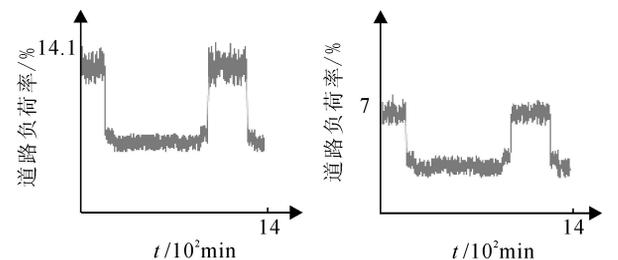


图 4 信息决策引入前后的道路负荷情况对比

不仅如此,由于信息决策互动的引入,使公交出行成为首选,城市交通更加有序,道路平均负荷下降,平均交通速度提高,能耗和排放均有显著下降(见图4).在投入信息决策后,高峰期的道路负荷系数由14.1降到7,可以有效降低一半左右的负荷,从而达到在现有道路情况下有效实现交通优化的目标.

与此同时,城市的交通能源消耗系数也由高峰期的1080降至962,可以有效降低城市交通能源消耗20%左右(见图5).

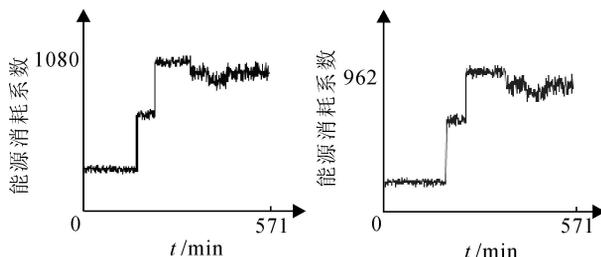


图5 信息决策引入前后的城市交通能源消耗对比

5 结论

通过构建基于微观行为学信息决策的自治交通模型,并通过仿真发现合理适度的信息量对出行者的出行模式可造成巨大的影响.在当前已有的物理交通结构下,以交通决策信息中心为主体,将城市公共交通和私人车辆的混合出行模式的信息作为信息运算和结果,突破了物理交通对出行的限制.本文提出的自治交通模型,在引入信息决策因子的基础上,在有限的行为空间内,使微观行为者本身互动而导致社会行为的周期性变化向着既定的目标发展.仿真程序显示出信息决策对于行为互动具有非常重要的力量,个体的预算约束及价格成本的政策、市场调节等因素的共同作用,使出行者的模式选择的微观特征与城市交通系统的宏观表现结合在一起.因此,城市自治交通模型以信息决策因子为中心,通过对微观主体的交互机制引入,为城市交通规划、结构调整、能耗排放、交通信息服务以及实施效力预估提供了强有力支持的研究平台.

参考文献(References)

- [1] Shvetsov V I. Mathematical modeling of traffic flows [J]. Automation and Remote Control, 2003, 64(11): 1651-1689.
- [2] 陆化普,毛其智,李政,等.快速城镇化进程中的城市可持续交通——理论与中国实践[M].北京:中国铁道出版社,2008.
(Lu H P, Mao Q Z, Li Z, et al. Sustainable urban mobility in rapid urbanization: Theory and practice in China [M]. Beijing: China Railway Publishing House,

2008.)

- [3] 陆化普.交通规划理论与方法[M].第2版.北京:清华大学出版社,2006.
(Lu H P. Theory and methods for transportation planning [M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.)
- [4] 姚荣涵,王殿海.出行分布的信息熵模型[J].交通运输系统工程与信息,2005,5(3):116-126.
(Yao R H, Wang D H. Information entropy models of trip distribution [J]. J of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2005, 5(3): 116-126.)
- [5] 陆化普,史其信,殷亚锋.动态交通分配理论的回顾与展望[J].公路交通科技,1996,13(2):34-44.
(Lu H P, Shi Q X, Yin Y F. Dynamic traffic assignment model—A review and future [J]. J of Highway and Transportation Research and Development, 1996, 13(2): 34-44.)
- [6] 陈红,刘勇.道路交通系统类热力学熵及其运用[J].湖南大学学报,2004,31(3):69-72.
(Chen H, Liu Y. Establishment and application of thermodynamics entropy to road traffic system [J]. J of Hu 'nan University, 2004, 31(3): 69-72.)
- [7] 冯岩,裴玉龙,徐大伟.智能公共交通系统动态调度模型研究[J].哈尔滨工程大学学报,2007,28(3):273-276.
(Feng Y, Pei YL, Xu D W. Dynamic scheduling model for intelligent transportation system [J]. J of Harbin Engineering University, 2007, 28(3): 273-276.)
- [8] Arnaud Doniec. A behavioral multi-agent model for road traffic simulation [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2008, 21(8): 1443-1454.
- [9] 王笑京.智能交通系统研发历程与动态述评[J].城市交通,2008,6(1):6-12.
(Wang X J. Review of the process and dynamics of ITS research and developments [J]. Urban Transport of China, 2008, 6(1): 6-12.)
- [10] 鲁丛林,谭跃进.城市交通系统复杂性模型及仿真分析[J].系统工程,2005,23(3):84-87.
(Lu C L, Tan Y J. System complex model and simulation analysis for city transportation [J]. System Engineering, 2005, 23(3): 84-87.)
- [11] 张毅,靳雪翔,胡坚明.城市交通系统复杂性分析与应用初探[Z].中国自动化产业信息交通高峰论坛,2005:103-110.
(Zhang Y, Jin X X, Hu J M. System complex analysis and application discussion for city transportation [Z]. Forum for China Automation Industries Information and Transportation, 2005: 103-110.)