

基于指向惩罚的交通信息发布下随机交通分配*

李 军¹, 谢良惠², 黄 琳³

- (1. 中山大学工学院智能交通研究中心, 广东 广州 510006;
2. 济南市城市交通研究中心, 山东 济南 250101;
3. 广州至信交通顾问有限公司, 广东 广州 510030)

摘 要: 提出了通过对发布交通拥堵信息的路段进行阻抗惩罚的随机交通分配方法。出行者被分为“随机型”与“信息型”两类并进行 logit 型的随机路径选择, 前者不受交通信息发布的影响, 根据正常路阻进行路径选择, 而后者会根据发布的信息, 改变对下游路网阻抗的认知并根据新的阻抗进行路径选择。通过对发布拥堵信息的路段的路阻施加路段到路段的指向惩罚来反映“信息型”出行者的路阻变化, 分别对两组类型的出行者进行随机网络加载, 给出了基于混合流量加载的交通分配算法。实例验证了方法的有效性, 并分析了交通信息服务的市场占有率和信息的发布方案对信息发布效果的影响。

关键词: 交通工程; 交通信息发布; 随机交通分配; 指向惩罚; 市场占有率

中图分类号: U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2013)05-0026-06

Stochastic Traffic Assignment in Consideration of Traffic Information Based on the Link-link Penalty

LI Jun¹, XIE Lianghui², HUANG Lin³

- (1. Intelligent Transportation System Research Center, School of Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China;
2. Jinan Urban Transport Research Center, Jinan 250101, China;
3. Guangzhou Zhixin Transportation Consultant CO. Ltd., Guangzhou 510030, China)

Abstract: A stochastic traffic assignment method considering the impact of traffic congestion information based on the direction penalty is presented to calculate the traffic flows under traffic congestion information. The travelers who are assumed to have logit style route choice behavior are divided into two groups named “stochastic users” and “information users”. The “stochastic users” are not affected by traffic information and chooses route according to the normal route impedances, while the “information users” will follow the traffic congestion information to update route impedances and their route choices are based updated impedances. A direction penalty is added to the road-road connector to reflect the increased impedances by congestion information, a modified Dial algorithm with the consideration of direction penalty is employed for stochastic network loading of different users and method of successive average is used for stochastic traffic assignment. Two numerical examples demonstrate that the proposed method is efficient and robust, and the impacts of acceptance of traffic information and traffic information publishing strategies are discussed.

Key words: traffic engineering; traffic information; stochastic traffic assignment; direction penalty; market penetration

* 收稿日期: 2013-01-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51178475)

作者简介: 李军(1968年生), 男; 研究方向: 交通规划与政策; E-mail: stsljun@mail.sysu.edu.cn

发布交通信息诱导交通行为可以有效的缓解交通拥堵,减少系统总的出行时间^[1-2]。建立交通信息发布下的随机交通分配模型,反映出行者在交通信息影响下的出行选择,对交通管理者把握交通状态,制定交通信息发布方案有着重要意义。

出行信息的发布包括出行前信息与出行途中信息。出行前信息发布下,信息接受者在出行前得到发布的全路网交通信息,可以采用具有混合策略的随机用户均衡模型,根据扩展的 MSA 算法对模型进行求解^[3-6]。而实际出行中,出行者更多的受出行途中信息的影响。对于出行途中信息,有学者对全路网进行无信息影响下的 Probit 型随机用户均衡分配,再将每个设置了可变信息板的交叉口作为路网子网的起点,对子网进行最短路分配^[7],这种方法不能反映用户在信息发布下的随机路径选择行为以及信息接收程度。另一类方法引入交通信息服务市场占有率的概念^[8],针对发布的指引信息,接收信息的出行者按指引信息出行,其他出行者采用 Dial 算法加载分配流量,采用逐次平均法完成了指引信息下的随机交通分配^[9-10]。实际上交通信息接收者的出行行为依然具有随机性,而不是完全按照指引信息出行。这一点在交通拥堵信息的发布中体现的尤为明显,出行者即使接收到前方拥堵信息,也会考虑对比前方拥堵路径同其他路径的效用,最终选择其认为的最佳路径。

基于传统的 Dial 算法,学者提出了诸多改进的算法^[11-12],使得 Dial 算法在保持高效的同时更加精确。考虑转向的 Dial 算法将节点-路段的拓扑关系扩展成为路段-转向的拓扑关系^[13-14],这与交通信息发布的路段-转向信息相吻合,可用于交通信息发布下考虑方向的随机加载。但算法从终点反向加载流量,并不能反映出行者在受到交通影响后的行为改变过程。

本文将探讨在出行途中发布道路拥堵信息情况下的随机交通分配问题,考虑接受信息者与未接受信息者的随机选择行为,对接受信息者的前方拥堵路段的效用进行惩罚,结合考虑转向的 Dial 算法,提出交通信息作用下基于指向惩罚法的网络随机加载算法。

1 基于指向惩罚的随机交通分配算法

1.1 算法原理

根据是否接收到信息将出行者分为“随机型”与“信息型”两类:“随机型”出行者不接收交通信息,对路网进行随机路径选择;“信息型”出行

者在没有接收到拥堵信息时,对网络进行随机选择,而在接收到拥堵信息后,更新其对下游路网阻抗的理解,对下游路网进行随机路径选择。信息的发布将使网络中发生“随机型”及“信息型”混合流量加载。

考虑转向的有向网络,各类基本要素从纵向层次上分为节点层、路段层以及转向层。同一层内的各要素可以相互连接,而相邻层内的要素则存在关联的关系,即第一层的节点与节点连接,构成第二层的路段,而路段与路段的连接,则构成第三层的转向。基于指向惩罚的网络加载其本质上是 Dial 算法中的节点-路段拓扑关系进一步深化到路段-转向层次,并从中增加对信息发布的考虑。接受到交通拥堵信息的出行者将改变其拥堵路段的广义理解阻抗,这个改变通过惩罚到拥堵路段的转向阻抗来实现。

考虑到实际路网中阻抗随交通流量变化,在基于指向惩罚的网络加载基础上,通过逐次平均法实现两种类型出行者的随机均衡交通分配。

1.2 符号定义

1) 路网模型。

用图论中的有向图对路网进行表示。 $G = (N, A)$ 是有向图, N 是网络结点的集合, A 是网络有向弧的集合; $a = (i, j) \in A$ 表示路网中的有向弧; x_a 表示路段 a 的交通流量, y_a 和 z_a 分别为该路段上“随机型”及“信息型”交通流量; q_{rs} 为 OD 对 rs 的交通量; t_a 为路段 a 的阻抗; r 代表一个起点, s 代表一个终点,如图 1 所示,增加虚拟的起点 r' 和终点 s' ,组成虚拟起始路段 $v_r = (r', r)$ 以及虚拟结束路段 $v_s = (s, s')$,其阻抗为 0。

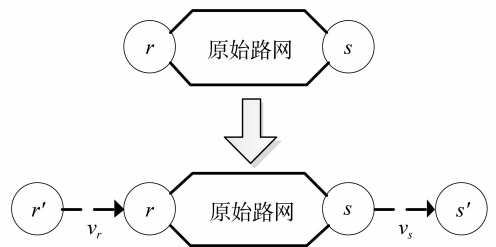


图 1 虚拟起终点和虚拟路段

Fig. 1 Virtual nodes and links

2) 拥堵信息发布。

$\psi_{a \rightarrow b}$ 表示路段 a 到路段 b 的信息发布状态, $\psi_{a \rightarrow b} = 1$ 表示路段 a 上发布了路段 b 的交通拥堵信息, $\psi_{a \rightarrow b} = 0$ 表示未发布;当路段 a 上发布路段 b 拥堵信息时,路段 a 上的“信息型”出行者对路

段 b 的广义理解阻抗受到惩罚, 阻抗为接收前的 $\beta_{a \rightarrow b}$ 倍, 即惩罚系数为 $\beta_{a \rightarrow b}$; 惩罚系数反映了交通拥堵程度, 在实际应用时可根据交通拥挤程度进行取值。

3) 市场占有率。

采用交通信息服务的市场占有率来 φ_{rs} 表示“信息型”出行者占 OD 对 rs 之间所有出行者的比例 φ_{rs} ; “随机型”的交通需求为 $q_{rs}^1 = q_{rs}(1 - \varphi_{rs})$, “信息型”的交通需求为 $q_{rs}^2 = q_{rs}\varphi_{rs}$; φ_{rs} 的值根据实际交通信息服务的市场占有率来确定, 取值范围为 0 ~ 100%, 当取值为 0 时, 所有出行者均不使用交通信息服务, 当取值为 100% 时, 则所有出行者均使用交通信息服务。

1.3 基于指向惩罚的网络加载方法

由于从节点 - 路段拓扑关系深化到路段 - 转向层次, 通过路段间的最短路径取代节点间的最短路径对路段的合理性进行判断, 用 $s(a)$ 表示从虚拟结束路段 v_s 到网络中某路段 $a = (i, j)$ 的最短路径, 即从 s 点出发, 经过一系列中间的路段, 最终经由节点 j 到达节点 i 的最短路径。对于转向 $a \rightarrow b$, 其为有效转向的条件是当且仅当 $s(a) > s(b)$, 即该转向使得出行者更接近于结束的路段。具体加载步骤如下:

Step 0: 初始化。

增加虚拟的起点 r' 和终点 s' , 组成虚拟的起始路段 v_r 、虚拟的结束路段 v_s 以及相应的虚拟转向, 并设这些虚拟路段和转向的阻抗值均为 0。

Step 1: 计算在无信息影响下, 从路段 a 到虚拟结束路段 v_r 的不带阻抗惩罚的最小阻抗 $s_1(a)$ 。 θ 为模型参数, 对于转向 $a \rightarrow b$, 计算其似然值 $L_1^{a \rightarrow b}$:

$$L_1^{a \rightarrow b} = \begin{cases} \exp(-\theta t_b) & \text{若 } s_1(a) > s_1(b) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

Step 2: 从虚拟结束路段 v_s 开始, 按照 $s_1(b)$ 的上升顺序, 向后计算转向权重。

对于每个路段 b , 计算流入它的所有转向的权重值, 当到达虚拟起始路段 v_r 时, 停止权重计算。

$$w_1^{a \rightarrow b} = \begin{cases} L_1^{a \rightarrow b} & \text{若 } b = v_s \\ L_1^{a \rightarrow b} \sum_k w_1^{b \rightarrow k} & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

Step 3: 计算无信息影响下, 路段 a 上的出行者对路段 b 的随机选择概率 $p_1(b | a)$:

$$p_1(b | a) = \frac{w_1^{a \rightarrow b}}{\sum_k w_1^{a \rightarrow k}} \quad (3)$$

Step 4: 对信息发布进行考虑。从起点开始,

按照 $s_1(a)$ 的下降顺序, 当在路段 a 上发布指向 b 的拥堵信息, 计算带阻抗惩罚的 $s_2(a)$ 、 $s_2(b)$, 以及各转向 $a \rightarrow b$ 的似然值 $L_2^{a \rightarrow b}$ 、权重值 $w_2^{a \rightarrow b}$, 以及路段 a 上出行者对路段 b 选择概率 $p_2(b | a)$:

$$L_2^{a \rightarrow b} = \begin{cases} \exp(-\theta \beta_{a \rightarrow b} t_b) & \text{若 } s_2(a) > s_2(b) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

$$w_2^{a \rightarrow b} = \begin{cases} L_2^{a \rightarrow b} & \text{若 } b = v_s \\ L_2^{a \rightarrow b} \sum_k w_1^{b \rightarrow k}, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

$$p_2(b | a) = \frac{w_2^{a \rightarrow b}}{w_2^{a \rightarrow b} + \sum_{k \neq b} w_1^{a \rightarrow k}} \quad (6)$$

Step 5: “随机型”流量加载。从路段 v_r 开始, 按照 $s_1(a)$ 下降的顺序, 将 q_{rs}^1 加载到网络上。对于路段 a , 计算该路段上的“随机型”流量 y_a :

$$y_a = \begin{cases} q_{rs}^1 & \text{若 } a = v_r \\ \sum_k y_k p_1(a | k) & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

Step 6: “信息型”流量加载。从路段 v_r 开始, 按照 $s_1(a)$ 下降的顺序, 将 q_{rs}^2 加载到网络上。对于路段 a , 计算该路段上的“信息型”流量 z_a :

$$z_a = \begin{cases} q_{rs}^2 & \text{若 } a = v_r \\ \sum_{\psi_{k \rightarrow a} = 0} z_k p_1(a | k) + \sum_{\psi_{k \rightarrow a} = 1} z_k p_2(a | k) & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

Step 7: 混合流量加载, 路网中的路段 a 的流量 x_a 为“随机型”及“信息型”路段流量的叠加:

$$x_a = y_a + z_a \quad (9)$$

上述算法实际上是对“随机型”交通需求实施了一个不考虑阻抗惩罚的 Logit 型网络随机加载, 对于“信息型”需求, 当其在有拥堵信息发布的路段上, 对下游邻接路段进行带惩罚的 Logit 型随机选择, 而当其在无拥堵信息发布的路段, 则是进行无惩罚的随机选择, 最终实现 2 种不同类型需求的共同加载。无论是否带有指向的惩罚, 任意转向 $a \rightarrow b$ 的似然值、权重以及选择比例的计算均只与终点有关, 与起点无关, 即信息的发布只会对其下游网络的路段流量造成影响。

1.4 可变阻抗路网下的随机交通分配

对于可变阻抗的路网, 路段行驶时间是交通流量的函数, 采用逐次平均法实现两种类型出行者的随机均衡交通分配。具体步骤如下:

Step 1: 初始化。基于零流行驶时间 $\{t_{ij}(0)\}$, 根据当前的市场占有率即“信息型”出行者所占

有出行者的比例，将交通需求 q_{rs}^1 和 q_{rs}^2 加载到网络上，由此获得路网路段集合 A 中各路段的初始交通流量 $\{x_a^n\}$ ，设迭代次数 $n = 1$ ；

Step 2：在 $\{x_a^n\}$ 的基础上，更新各路段的实际行驶时间： $t_a^n = t(x_a^n)$ ；

Step 3：寻找迭代方向。根据当前的路网行驶时间及信息发布方案，将交通需求 q_{rs}^1 和 q_{rs}^2 加载到交通网络上，计算出本次分配的附加交通量 $\{u_a^n\}$ ；

Step 4：用迭代加权的方法，计算各路段的交通量：

$$x_a^{n+1} = x_a^n + \frac{1}{n}(u_a^n - x_a^n) \quad (10)$$

Step 5：收敛性检查。如果 $\{x_a^{n+1}\}$ 和 $\{x_a^n\}$ 的满足收敛性要求，即满足式 (11)，其中 ε 是预先给定的误差限值，则算法停止；否则令 $n = n + 1$ ，并返回到 Step 2。

$$\sqrt{\frac{\sum_{a \in A} (x_a^{n+1} - x_a^n)^2}{\sum_{a \in A} x_a^n}} < \varepsilon \quad (11)$$

2 算例

2.1 计算示例

选取交通分配计算的经典网格，假设阻抗不随交通流量变化，各路段阻抗如图 2 所示，节点 1 和节点 9 是网络中唯一 OD 对的起点和终点， $q_{19} = 1\ 000$ 。

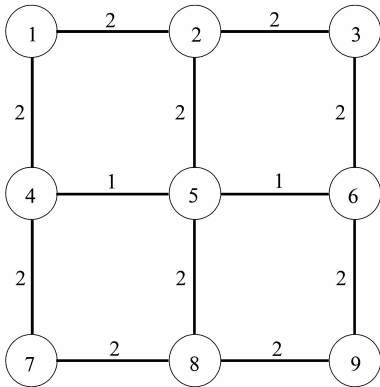


图 2 示例路网
Fig. 2 Example network

在图 2 的示例路网中，取参数 $\theta = 1$ ，在无信息影响下，进行 Logit 型随机选择时各转向的似然值及权重值，计算转向比例，将流量 q_{19} 加载到路网，得到各路段流量。

拟在路段 (4, 5) 上发布路段 (5, 6) 的拥堵信息，假设惩罚系数 $\beta_{(4,5) \rightarrow (5,6)} = 1.5$ ，市场占有率 $\varphi_{rs} = 100\%$ ，利用 2.3 算法中的 Step4，计算

在信息作用下，路段 (4, 5) 对其下游邻接路段的选择比例，计算过程如表 1 所示。

表 1 信息作用下的计算过程

Table1 Calculation process with traffic information

计算式	结果
$L_2^{(4,5) \rightarrow (5,6)} = \exp(-\theta \beta_{(4,5) \rightarrow (5,6)} t_{(5,6)})$	0.223
$w_2^{(4,5) \rightarrow (5,6)} = L_{(4,5) \rightarrow (5,6)} \cdot w_1^{(5,6) \rightarrow (6,9)}$	0.030
$P2[(5,6) (4,5)] = \frac{w_2^{(4,5) \rightarrow (5,6)}}{(w_2^{(4,5) \rightarrow (5,6)} + w_1^{(4,5) \rightarrow (5,8)})}$	0.623
$P2[(5,8) (4,5)] = \frac{w_2^{(4,5) \rightarrow (5,8)}}{(w_2^{(4,5) \rightarrow (5,6)} + w_1^{(4,5) \rightarrow (5,8)})}$	0.378

根据转向比例，计算信息作用下的各路段流量，同无信息作用下的各路段流量对比如图 3 所示。

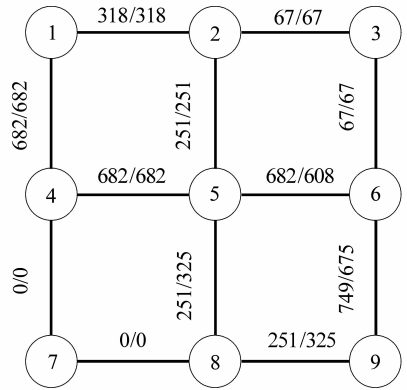


图 3 无/有信息作用下各路段流量
Fig. 3 Traffic flow without/with traffic information

在交通信息发布作用下，路段 (4, 5) 上的部分出行者接收到路段 (5, 6) 的拥堵信息，对路段 (5, 6) 的感知阻抗增大，改变了原来的路径选择策略，转向路段 (5, 8)。由于这一信息是出行途中的信息发布，因此信息的发布只对发布信息路段的下游路段流量带来影响，而不影响信息发布路段的上游路段。

2.2 实例分析

选取日本丰田汽车制造厂周边的道路网络，其覆盖面积约为 3.4 km²，包括了 51 条路段（双向）以及 47 个节点，如图 4 所示^[15]。

交通调查时间为某日早高峰 8:00 ~ 9:00，在该时段内，入境的小汽车交通量为 5 184 辆，过境的交通量为 6 220 辆。其中入境交通以汽车制造厂产生的通勤交通为主，过境交通则主要经过两条

过境通道 (节点 1 - 节点 5、节点 20 - 节点 30)。

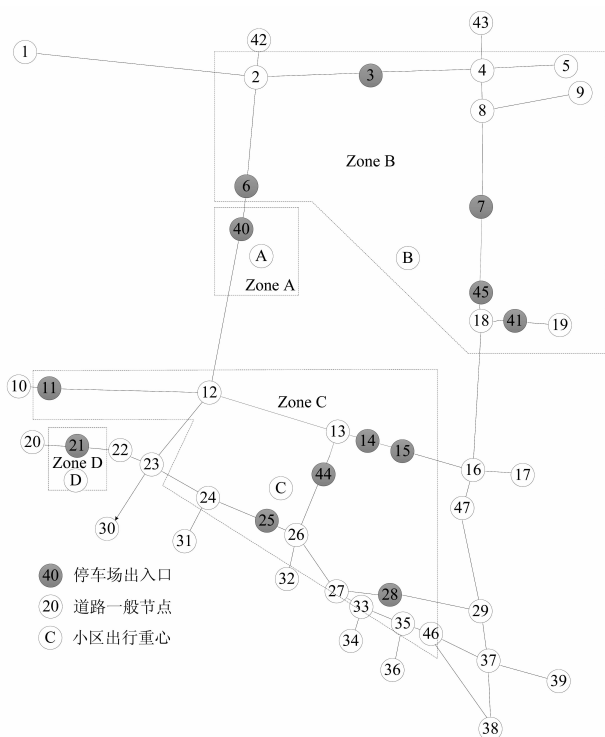


图 4 丰田汽车制造厂周边路网

Fig. 4 Road network surrounding Toyota automobile factory

根据调查所得的交通需求, 对路网进行无信息条件下的随机交通分配。采用美国公路局的路段阻抗函数, 参数取默认值, 计算得到无信息影响下, 道路系统总的行车时间为 44 027 min。交通拥堵主要集中在过境道路上, 这是因为这些路段同时承担了入境交通与过境交通的功能, 交通流量过大。

为了达到提高路网运作效率、降低道路系统运行时间的目的, 本实验拟通过发布出行途中道路拥堵信息, 影响发布路段上的出行者对下游出行路径的广义理解阻抗, 使其自发地避免拥堵道路出行。考虑两种信息发布策略下的方案:

方案 1: 根据路网运行的实际情况, 选取网络中所有饱和度为 0.8 及以上的路段的上游路段, 发布其下游路段拥堵信息, 即进行拥堵完全发布;

方案 2: 根据方案一的发布效果进行调整, 增加路段 (4, 3) 的拥堵信息发布。

利用本文提出的随机交通分配算法, 针对上述两种方案下进行交通分配。假设路段惩罚系数取值 $\beta = 1.4$, 误差限值 $\varepsilon = 0.001$ 。当市场占有率为 1 时, 两个方案的系统行车时间分别为 43 947 min 以及 43 821 min。

为分析不同占有率下的系统运行情况, 将市场占有率从 0 到 1 变化, 进行交通分配, 结果如图 5 所示。

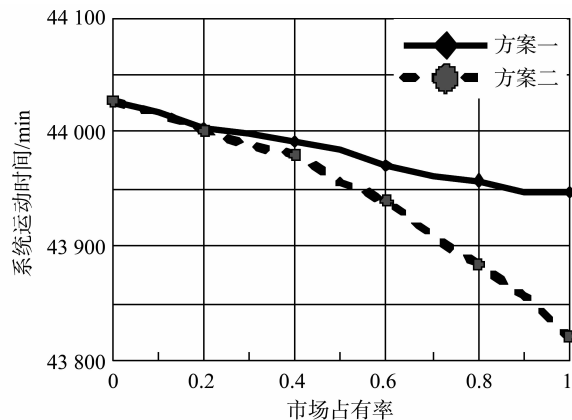


图 5 系统运行时间随市场占有率的变化

Fig. 5 Total travel times as market penetration changes

由图 5 可以看出, 在两种方案下, 随着市场占有率的增加, 系统总的运行时间均呈现出平缓下降的趋势。在方案一中, 尽管出行者在出行途中接收到了下游路段的拥堵信息, 但由于可替代的路径相比于受到惩罚的路径并不存在明显的优势, 信息发布对路网的改善作用并不明显。在方案二中, 为减少从东部及北部 (节点 5、43) 进入区域的交通量经由过境通道进入, 增加了路段 (4, 3) 的拥堵信息发布, 系统运行时间较方案一得到了显著的下降, 主要来源于从节点 42 至节点 12 的路段通行时间的减少。

实验结果表明交通信息服务的市场占有率和信息发布的方案对系统运行时间均具有显著的影响, 用户提高接受信息的程度, 交通管理者根据路网的客观条件以及交通需求, 对信息方案进行一定程度的调整, 将使得系统运行达到更佳的状态。

3 结 语

本文探讨了在出行途中发布道路拥堵信息情况下的交通分配问题, 提出了基于指向惩罚的 Dial 加载算法用于交通信息发布下的随机交通分配。以日本丰田汽车制造厂周边的路网为对象, 验证了本文所提出的出行途中信息发布下的随机交通分配算法, 分析了不同市场占有率及不同信息发布方案下系统的运行情况。本文提出的算法适用于静态和动态的交通分配求解, 进一步的最佳占有率及最优信息发布方案的求解将是本研究的未来方向。

- nation waves in channels with 90° bends [J]. *Combustions*, 1983, 3(1): 123 - 126.
- [5] 张德良, 谢巍, 胡湘渝. 气相爆轰波马赫反射的实验和数值研究 [C]. 第十届全国计算流体力学会议论文集, 2000: 381 - 386.
- [6] HUANG Zhongwei, XU Bin. Relation between cell size and detonation parameters in overdriven gaseous detonation [J]. *Combustion and Flame*, 1987, 67: 95 - 102.
- [7] 夏昌敬, 周凯元, 沈兆武, 等. 可燃气体非稳定爆轰波通过 90° 圆弯管传播特性的实验研究 [J]. *实验力学*, 2002, 17(4): 438 - 443.
- [8] 夏昌敬, 周凯元. 气相爆轰波在 90° 矩形弯管中传播时胞格结构的演化 [J]. *爆炸与冲击*, 2005, 25(2): 151 - 156.
- [9] 夏昌敬, 周凯元, 沈兆武. 初始条件影响气体非稳定爆轰波在弯管中传播特性的实验研究 [J]. *中国科学技术大学学报*, 2004, 34(1): 92 - 97.
- [10] LEE J H. *Annual rev fluid mech* [M]. Pittsburg: the University of Pittsburg Press, 1984: 311 - 336.
- [11] LEE J H, KINGSTAUTUS R, CHAN C K. Turbulent flame propagation in obstacle-filled tubes [C] // 20th Symposium (International) on Combustion, Pittsburgh: the Combustion Institute, 1984: 663 - 671.
- [12] MOEN I O. Detonation in fuel-air explosive clouds [J]. *Hazard Mater*, 1993, (33): 159 - 192.
- [13] BULL D C, ELSWORTH J E. Detonation cell structure in fuel-air mixture [J]. *Combust Flame*, 1982, 45: 7 - 14.
- [14] KUIPERS B. Qualitative simulation [J]. *Artificial Intelligence*, 1986, 29(33): 289 - 338.
- [15] 白方周, 张雷. 定性仿真导论 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1998: 63 - 66.

(上接第 30 页)

参考文献:

- [1] TSUJI H, TAKAHASHI R, YAMAMOTO Y. A stochastic approach for estimating the effectiveness of a route guidance system and its related parameters [J]. *Transportation Science*, 1985, 19(4): 333 - 351.
- [2] LINDLEY J A. Urban freeway congestion problems and solutions [J]. *ITE Journal*, 1989, 59(12): 21 - 23.
- [3] YANG H. Multiple equilibrium behaviors and advanced traveler information systems with endogenous market penetration [J]. *Transportation Research Part B*, 1998, 32(3): 205 - 218.
- [4] JABER X, OMAHONY M. Mixed stochastic user equilibrium behavior under traveler information provision services with heterogeneous multiclass, multicriteria decision making [J]. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2009, 13(4): 188 - 198.
- [5] HUANG H J, LIU T L, GUO X, et al. Inefficiency of logit-based stochastic user equilibrium in a traffic network under ATIS [J]. *Networks and Spatial Economics*, 2011, 11(2): 255 - 269.
- [6] 李昕, 刘澜, 戢晓峰. ATIS 影响下的基于广义成本的随机用户平衡模型 [J]. *交通运输系统工程与信息*, 2009, 9(2): 50 - 55.
- [7] LAM W, CHAN K. A model for assessing the effects of dynamic travel time information via variable message signs [J]. *Transportation*, 2001, 28(1): 79 - 99.
- [8] 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.
- [9] 肖国荣, 余志, 黄敏. 基于偏离指数的指路标志优化模型研究 [J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2008, 47(1): 38 - 41.
- [10] 李军, 黄琳. 道路指引信息发布下的随机交通分配 [J]. *交通运输系统工程与信息*, 2012, 12(3): 31 - 35.
- [11] 辛松歆, 李军. 一种改进的 Logit 型多路径交通分配算法 [J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2007, 46(5): 29 - 31, 40.
- [12] 四兵锋, 张好智, 高自友. 求解 Logit 随机网络配流问题的改进 Dial 算法 [J]. *中国公路学报*, 2009, 22(1): 78 - 83.
- [13] 任刚, 王炜. 基于转向的 Logit 交通分配算法 [J]. *交通运输工程学报*, 2005, 5(4): 101 - 105.
- [14] 任刚, 王炜. 可直接计算转向流量的改进型 DIAL 交通分配算法 [J]. *中国公路学报*, 2005, 18(4): 101 - 105.
- [15] IGUCHI H. Research of fuzzy neural network application on the traffic assignment problem (in Japanese) [D]. Nagoya University, 2001.