科学通报 2009 年 第 54 卷 第 16 期: 2284 ~ 2288
论 文 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE IN CHINA PRESS

信息反馈在非对称双通道交通中的影响

孙晓燕[①*], 汪秉宏[①②*], 王巧鸣[①], 杨涵新[①], 姜锐[③]

① 中国科学技术大学近代物理系, 合肥 230026;
② 上海理工大学复杂系统科学研究中心, 上海系统科学研究院复杂适应系统研究所, 上海 200093;
③ 中国科学技术大学热科学及能源工程系, 合肥 230026
* 联系人, E-mail: sxy11@mail.ustc.edu.cn, bhwang@ustc.edu.cn

2009-02-20 收稿, 2009-04-30 接受
国家重点基础研究发展计划(编号: 2006CB705500)、国家自然科学基金(批准号: 10532060)和高等学校博士学科点专项基金(编号: 20060358065)资助项目

摘要 在交通系统中, 一种合理的信息反馈能够缓解交通拥堵, 提高道路的通行能力. 运用两种改进的信息反馈(改进的平均速度反馈和改进的拥挤系数反馈)研究了非对称的双通道交通系统. 模拟结果显示, 出行者平均出行时间与入口处车辆到达概率有关: 当到达概率较小时, 采用改进的平均速度反馈能节省出行时间; 当达到概率较大时, 采用改进的拥挤系数反馈更能节省出行时间. 另外还考察了系统中动态车比例、道路上瓶颈位置、瓶颈长度及道路长度等参数, 发现改进的拥挤系数反馈能够更好地提高道路的通行能力.

关键词
交通流
非对称双通道系统
信息反馈

交通流是大量车辆相互作用的多体系统, 它呈现出各种复杂特性. 因此, 近年来引起了许多物理学家的研究兴趣并且提出了大量不同类型的模型[1~10], 同时考察了外部条件对道路交通的影响[11,12]. 最近, 为了缓解交通拥堵, 提高道路的通行能力, 有效地利用当前的道路设施, 先进出行者信息系统(ATIS)也被用于研究交通流[13~19], 并且设计了新的算法来提高交通信息的处理能力[20,21]. 近几年, 在对双通道系统的研究中, 一些学者提出了几种信息反馈策略.

(ⅰ) 行驶时间反馈. Wahle等人[22~24]引进行驶时间信息反馈, 其描述为: 初始, 两条道路上没有车辆, 信息面板上的信息置为缺省状态, 此时车辆随机选择路径. 当有车辆到达终点时, 车辆将在道路上的行驶时间传输到交通控制中心, 交通控制中心将其显示在信息面板上, 入口处的车辆选择行驶时间较小的路径进入.

(ⅱ) 平均速度反馈. Lee等人[25]提出了平均速度信息反馈. 其描述为: 每一时刻, 交通控制中心分别计算两条道路上车辆的平均速度, 将其显示在信息面板上, 入口处的车辆选择平均速度大的路径进入.

(ⅲ) 拥挤系数反馈. Wang等人[26]提出了拥挤系数信息反馈. 每一时刻, 道路上的车辆将信号传给卫星, GPS定位系统将车辆的位置传输给交通控制中心, 交通控制中心将计算道路上车辆的拥挤系数, 入口处的车辆选择拥挤系数较小的路径进入. 拥挤系数的定义为 $C=\sum_{i=1}^{m} n_i^2$, 其中 n_i 为道路上第 i 个拥挤集团内的车辆数, m 为拥挤集团个数.

然而, 这些信息反馈都是在对称的双通道系统中研究的, 即两条道路是完全相同的. 在现实交通中, 两条路径通常是不等同的, 尽管它们连接着共同的出发点和目的地. 例如, 通常会有一条短路径(道路上存在瓶颈, 车辆只能以较慢的速度行驶)和一条长路径(高架桥). 我们称这样的系统为非对称双通道系

引用格式: 孙晓燕, 汪秉宏, 王巧鸣, 等. 0B 信息反馈在非对称双通道交通中的影响. 科学通报, 2009, 54: 2284~2288
Sun X Y, Wang B H, Yang H X, et al. Effects of information feedback on an asymmetrical two-route scenario. Chinese Sci Bull, 2009, 54, doi: 10.1007/s11434-009-0506-7

统. 对于非对称双通道系统, 上述用于对称双通道系统中的信息反馈策略就失效了. 本文运用改进的平均速度反馈(improved mean velocity feedback, IMVF)和改进的拥挤系数反馈(improved congestion coefficient feedback, ICCF)研究了非对称双通道系统.

1 模型及信息反馈策略

首先, 我们指出以前所讨论的双通道系统存在的缺点. 第一, 两条道路是完全相同的; 第二, 在道路入口处, 如果车辆不能驶入所选路径, 则将其从系统中剔除. 这两点都与现实交通不符. 因此, 本文提出一个更接近现实交通的非对称双通道模型(图 1). 与研究对称双通道系统相同, 设非对称双通道系统中的每条道路为单道; 两条道路是不等长的, 并且在短路径上存在限速瓶颈. 不失一般性, 假设瓶颈在道路A上, 位置为$x=L_1$到$x=L_1+\Delta L$. 根据实际交通情况, 将车辆分为两种: 一种是动态车, 驾驶者根据道路入口处面板上的信息选择出行路径; 另一种是静态车, 驾驶者完全不理会面板上的信息, 随机地选择出行路径. 假设这两种车辆所占比例分别为S_{dyn}和$(1-S_{dyn})$. 每一时步, 车辆以概率λ到达双通道入口. 若不能驶入所选路径, 则在入口处等待, 下一时步动态车根据新的信息再次选择路径驶入(静态车仍驶入最初选定路径), 若还是不能进入路径, 车辆再次等待, 直到进入为止. 道路上的车辆按照Nagel- Schreckenberg模型[27~29]进行更新.

模拟中采用的信息反馈描述如下:

(ⅰ) 改进的平均速度反馈(IMVF). 反馈信息为$L/\langle v\rangle$, 其中L为道路长度, $\langle v\rangle$为该道路上车辆的平均速度. $L/\langle v\rangle$代表车辆的平均行驶时间.

(ⅱ) 改进的拥挤系数反馈(ICCF). 反馈信息为C/L, 其中L为道路长度, C为拥挤系数. C/L的物理意义为单位长度上的拥挤程度.

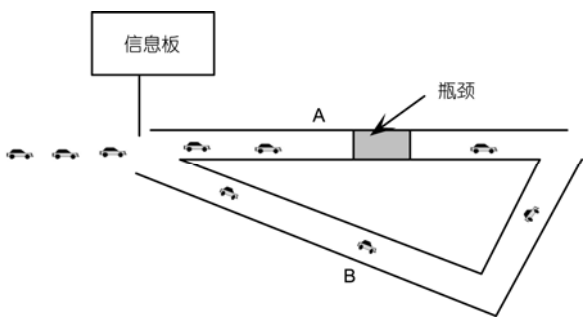


图 1 非对称双通道系统示意图

2 数值模拟结果

在数值模拟中, 若无特殊说明, 道路A包含2000个元胞, 即L_A=2000元胞; 道路B包含3000个元胞, 即L_B=3000元胞. 考虑到实际交通背景, 每个元胞长度取为7.5 m, 因此道路A等效长度为15 km, 道路B等效长度为22.5 km. 模拟时步设为1 s. 道路A上存在一限速瓶颈, 在瓶颈处车辆的最大速度v_{max}=1元胞/时步, 即27 km/h; 非瓶颈处v_{max}=3元胞/时步, 即81 km/h. 随机慢化概率p=0.25. 在所有模拟中, 前20000个时步舍去以排除非稳态影响, 记录在80000个时步的数值结果.

我们考察了车辆在道路上的平均行驶时间(average travel time)、在入口处的平均延迟时间(average delay time)以及出行者的平均出行时间(average cost)与车辆到达概率λ之间的关系. 其中, 平均延迟时间定义为在模拟时间内车辆驶入系统的时间与其到达入口处时间之差的平均值; 平均出行时间为平均行驶时间与平均延迟时间之和, 即出行者从出发点到目的地花费的总时间. 图2(a)显示了平均出行时间与λ之间的关系, 插图为$\lambda\leqslant$0.6时的放大图. 图2(b)描述了平均行驶时间与λ之间的关系. 由图可见, 当$\lambda\leqslant$0.6时, 平均出行时间曲线与平均行驶时间曲线具有相同的变化趋势, 并且平均出行时间在数值上与平均行驶时间很接近. 这说明当$\lambda\leqslant$0.6时, 在入口处几乎没有车辆排队, 即平均延迟时间很小(见图2(c)), 出行者花费的总时间依赖车辆在道路上的平均行驶时间. 当λ>0.6时, 车辆平均延迟时间随λ的增加而迅速增加, 并远大于平均行驶时间. 因此, 平均出行时间依赖平均延迟时间, 即λ>0.6时, 图2(a)与(c)中曲线变化趋势相同并且在数值上很接近. 这意味着当λ较大时, 到达的车辆数目已经超过了系统的最大通行能力, 导致车辆在入口处形成排队, 并且队列长度随时间的增加而急剧增加.

图3显示了在不同的车辆到达概率λ下, 系统平均流量(average flux)与动态车比例S_{dyn}的关系. 可见, 存在一个临界的动态车比例$S_{dyn,c}\approx$0.3对应系统的最大平均流量, 而且$S_{dyn,c}$与λ无关. 当$S_{dyn}<S_{dyn,c}$时, 采用两种信息反馈得到的平均流量几乎相等; $S_{dyn}>S_{dyn,c}$时, 采用ICCF平均流量比采用IMVF高, 即ICCF能

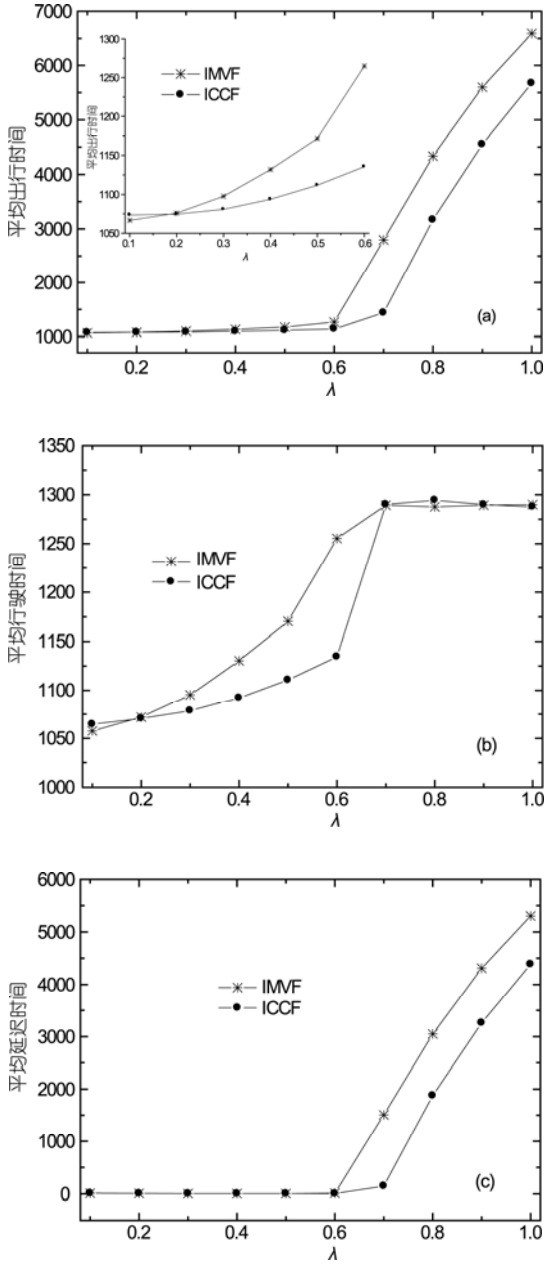


图 2 平均出行时间(a)、平均行驶时间(b)、平均延迟时间(c)与车辆到达概率λ之间的关系

S_{dyn}=0.5, L_1=900, ΔL=300

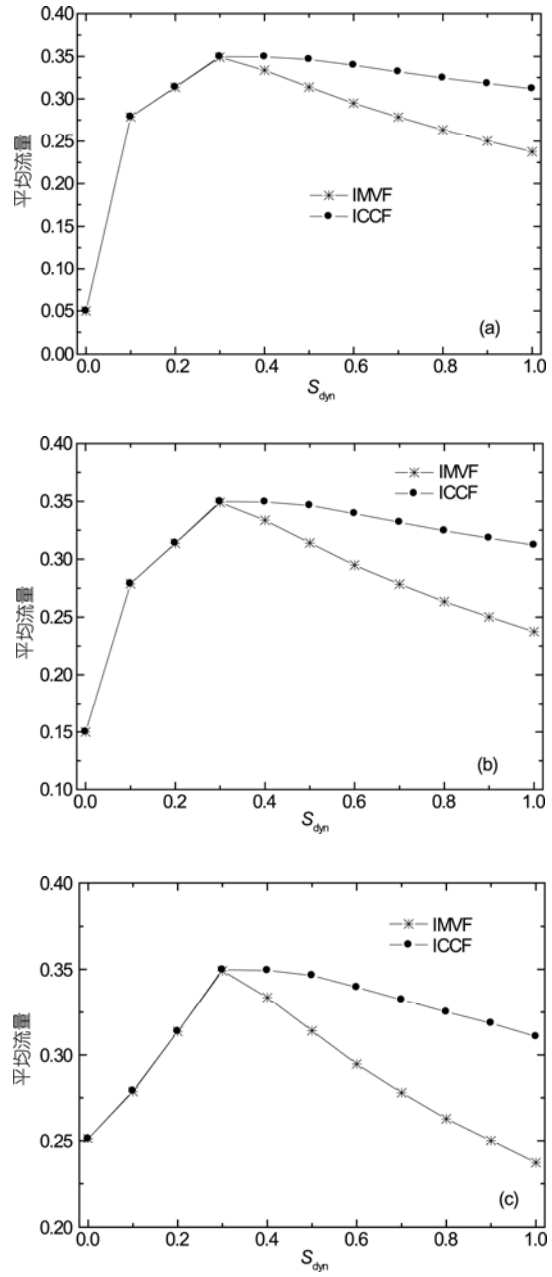


图 3 平均流量随动态车所占比例 S_{dyn} 的变化曲线

(a) λ=0.1; (b) λ=0.3; (c) λ=1. L_1=900, ΔL=300

够增加道路的通行能力.

随后, 我们考察了非对称双通道系统的交通条件对平均流量的影响. 图 4 显示了平均流量随瓶颈位置 L_1 和瓶颈长度 ΔL 的变化关系, 随着 L_1 向道路下游移动, 两种信息反馈下的平均流量都降低, 但是采用 ICCF 获得的平均流量总是高于采用 IMVF; 随着 ΔL 的增加, 采用 ICCF 得到的平均流量减小, 而采用 IMVF, 平均流量先降低, 随后达到一个稳定不变的状态, 同样采用 ICCF 时得到的平均流量总是高于采用 IMVF. 在图 5 中, 我们固定道路 A 的长度 L_A 不变, 道路 B 的长度 L_B 从 2000 个元胞增加到 4000 个元胞, 可以发现, 采用 ICCF 时系统的平均流量一直高于采用 IMVF.

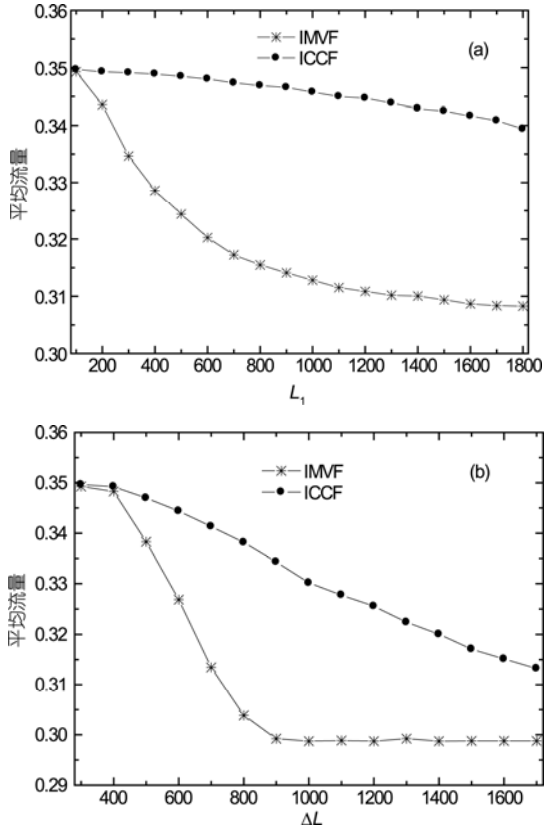


图 4　平均流量随瓶颈位置 L_1(a)和瓶颈长度 ΔL(b)变化的曲线图

S_{dyn}=0.5, λ=1

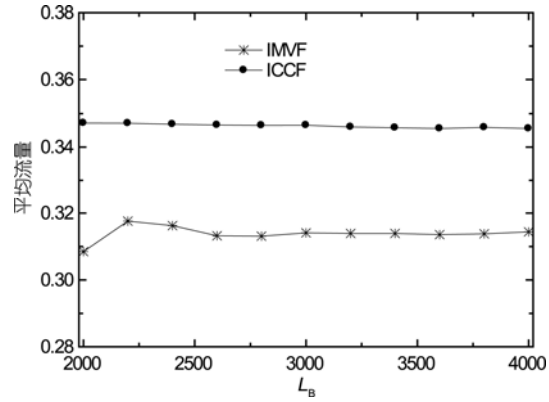


图 5　平均流量随道路 B 的长度 L_B 的变化曲线

S_{dyn}=0.5, λ=1

3　结论

本文采用改进的平均速度反馈和改进的拥挤系数反馈研究了非对称双通道系统. 模拟结果显示, 出行者平均出行时间与车辆到达概率λ有关, 当λ较小时, 采用 IMVF 能节省出行时间; 当λ较大时, 采用 ICCF 能节省出行时间; 系统存在一个临界的动态车比例 $S_{dyn,c}\approx0.3$, 此时系统的通行能力最大. 我们也考察了非对称双通道条件, 即瓶颈位置、瓶颈长度以及道路的长度, 发现采用 ICCF 得到的平均流量总是大于采用 IMVF. 在现实交通中, 经常存在非对称的双通道, 所以我们的研究对于实际应用有一定的指导意义.

参考文献

1　Kerner B S, Rehborn H. Experimental properties of complexity in traffic flow. Phys Rev E, 1996, 53: R4275—4278[DOI]

2　Helbing D, Tilch B. Generalized force model of traffic dynamics. Phys Rev E, 1998, 58: 133—138[DOI]

3　Helbing D, Treiber M. Gas-kinetic-based traffic model explaining observed hysteretic phase transition. Phys Rev Lett, 1998, 81: 3042—3045[DOI]

4　Helbing D, Hennecke A, Treiber M. Phase diagram of traffic states in the presence of inhomogeneities. Phys Rev Lett, 1999, 82: 4260—4263[DOI]

5　Chowdhury D, Santen L, Schadschneider A. Statistical physics of vehicular traffic and some related system. Phys Rep, 2000, 329: 199—329[DOI]

6　姜锐, 吴清松, 朱祚金. 一种新的交通流动力学模型. 科学通报, 2001, 45: 1895—1899

7　Nagatani T. The physics of traffic jams. Rep Prog Phys, 2002, 65: 1331—1386[DOI]

8　Li K P, Gao Z Y, Yang L X. Modeling and simulation for train control system using cellular automata. Sci China Ser E, 2007, 50: 765—773

9　杨立中, 方伟峰, 黄锐, 等. 基于元胞自动机的火灾中人员逃生的模型. 科学通报, 2002, 47: 896—901

10　唐铁桥, 黄海军. 两车道交通流模型与数值计算. 科学通报, 2004, 49: 1937—1943

11　Long J C, Gao Z Y, Ren H L, et al. Urban traffic congestion propagation and bottleneck identification. Sci China Ser F-Inf Sci, 2008, 51: 948—964[DOI]

12　Shang H Y, Huang H J, Gao Z Y. Impacts of variable message signs on traffic congestion. Sci China Ser E-Tech Sci, 2009, 52: 477—483[DOI]

13 Friesz T L, Luque J, Tobin R L, et al. Dynamic network traffic assignment considered as a continuous-time optimal-control problem. Operat Res, 1989, 37: 893—901[DOI]
14 Reiss R A, Nathan H G, Stephen L C. Dynamic control and traffic performance in a freeway corridor: A simulation study. Transp Res Part A, 1991, 25: 267—276[DOI]
15 Mahmassani H S, Jayakrishnan R. System performance and user response under real-time information in a congested traffic corridor. Transp Res Part A, 1991, 25: 293—307
16 Richard A, Andre de Palma, Robin L. Does providing information to drivers reduce traffic congestion? Transp Res Part A, 1991, 25: 309—318[DOI]
17 Bonsall P. The influence of route guidance advice on route choice in urban networks. Transportation, 1992, 19: 1—23[DOI]
18 Adler J, Blue V. Toward the design of intelligent traveler information systems. Transp Res C, 1998, 6: 157—172[DOI]
19 Dia H, Purchase H. Modelling the impacts of advanced traveler information system using intelligent agents. Road Transp Res, 1999, 8: 68—73
20 Lü W F, Zhu T Y, Wu D D, et al. A heuristic path-estimating algorithm for large-scale real-time traffic information calculating. Sci China Ser E-Tech Sci, 2008, 51(Suppl I): 165—174[DOI]
21 Si B F, Long J C, Gao Z Y. Optimization model and algorithm for mixed traffic of urban road network with flow interference. Sci China Ser E-Tech Sci, 2008, 51: 2223—2232[DOI]
22 Wahle J, Lúcia A, Bazzan C, et al. Decision dynamics in a traffic scenario. Physica A, 2000, 287: 669—681[DOI]
23 Wahle J, Lúcia A, Bazzan C, et al. The impact of real-time information in a two-route scenario using agent-based simulation. Transp Res C, 2002, 10: 399—417[DOI]
24 Yokoya Y. Dynamics of traffic flow with real-time traffic information. Phys Rev E, 2004, 69: 016121[DOI]
25 Lee K, Hui P M, Wang B H, et al. Effects of announcing global information in a two-route traffic flow model. J Phys Soc Jpn, 2001, 70: 3507—3510[DOI]
26 Wang W X, Wang B H, Zheng W C, et al. Advance information feedback in intelligent traffic systems. Phys Rev E, 2005, 72: 066702[DOI]
27 Nagel K, Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic. J Phys I, 1992, 2: 2221—2229
28 Schreckenberg A, Schreckenberg M. Cellular-automaton models and traffic flow. J Phys A, 1993, 26: 679—683[DOI]
29 Chowdhury D, Santen L, Schadschneider A. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems. Phys Rep, 2000, 329: 199—329[DOI]