

应用三种信息反馈策略研究含瓶颈的双通道模型

孙晓燕¹, 汪秉宏^{1,2}

(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及上海系统科学研究院, 上海 200093)

摘要: 研究了一个更接近实际的双通道模型, 比较了三种信息反馈策略。模拟结果表明, 最优策略与道路条件有关。因此, 道路管理者应该根据具体的路况, 采取合理的信息反馈策略, 使现有的道路设施能被充分利用。

关键词: 公路运输; 信息反馈; 交通流; 双通道模型; 交通瓶颈

中图分类号: U491 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5497(2009)Sup. 2-0076-04

Two-route model with bottleneck applying three kinds of information feedback

SUN Xiao-yan¹, WANG Bing-hong^{1,2}

(1. Nonlinear Science Center and Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China; 2. The Research Center for Complex System Science, University of Shanghai for Science and Technology and Shanghai Academy of System Science, Shanghai 200093, China)

Abstract: A two-route model which nears to real traffic systems were studied by comparing three kinds of information feedback. The simulation results show that the optimal strategy depends on the traffic situation. Thus, the road manager should adopt reasonable feedback according to the real traffic situation, so that the foundational equipment can be fully used.

Key words: highway transportation; information feedback; traffic flow; two-route model; traffic bottleneck

近年来, 如何解决交通拥堵问题, 已受到众多科研工作者的关注^[1-4]。为了缓解交通拥堵, 提高现有道路设施的通行能力, 将智能运输系统(ITS)有效地应用于道路交通^[5-8]。尽管人们期望先进的出行者信息系统能够有利于提高道路的通行能力, 但是最近的研究表明, 不合适的信息反而使道路交通变的更加糟糕^[9-10]。因此, 有必要解决以下问题: 何种信息是出行者所需要的? 是否存在最优信息? 最优信息是否与道路状况有关? 为此, 作者通过研究一个简单的具有相同出

发点和目的地的双通道模型, 部分地回答了这些问题。

1 信息反馈策略及含瓶颈的双通道模型

首先, 介绍一下本文用到的三种信息反馈策略。Wahle等^[9]于2000年应用行驶时间信息反馈(travel time information feedback, TTF)研究完全相同的双通道。实现方法为: 车辆到达目的地后, 将其在道路上的行驶时间反馈给交通控制

收稿日期: 2009-05-12.

基金项目: “973”国家重点基础研究发展规划项目(2006CB705500).

作者简介: 孙晓燕(1978-), 女, 博士研究生. 研究方向: 交通流理论. E-mail: sxy11@mail.ustc.edu.cn

通信作者: 汪秉宏(1944-), 男, 教授, 博士生导师. 研究方向: 统计物理理论, 非线性动力学, 自适应复杂系统.

E-mail: bhwang@ustc.edu.cn

中心。交通控制中心将此信息显示在出发点处的信息面板上,此后,进入的车辆根据信息板上提供的信息选择行驶时间较小的道路行驶。Wahle等^[10]的模拟发现,两条道路上的车辆数、平均速度及车辆的行驶时间具有震荡特性,这是由于信息的延迟造成的,也就是信息板上显示的信息不能反映当前的道路状况。

随后, Lee 等^[11]调查了平均速度信息反馈(mean velocity information feedback, MVF)。其实现方法为,在每一时间步,交通控制中心分别计算两条道路上车辆的平均速度,将其显示在信息板上,入口处的车辆根据信息选择车辆平均速度较大的道路行驶。数值模拟显示,在 TTF 中出现的震荡行为,在此策略中被压制了。

接着,王文旭等^[12]研究了拥挤系数反馈策略(congestion coefficient information feedback, CCF)。

定义拥挤系数为 $C = \sum_{i=1}^m n_i^2$, 式中 n_i 是第 i 个拥挤集团内的车辆数(拥挤集团内相邻的两辆车首尾相连,两车之间没有空隙。); m 是拥挤集团个数。其实现方法为,每一时间步,卫星记录车辆的信息,然后传给交通控制中心。交通控制计算每条道路上车辆的平均拥挤系数并显示在出发点处的信息面板上,车辆选择拥挤系数小的道路进入。模拟显示,采用 CCF 不但压制了震荡,而且道路的平均流量及在道路上行驶的车辆数也比前两种策略有所增加,即现有的道路设施得到了充分的利用。

下面考虑本文模型。连接相同出发点和目的地的两条长度相同的道路 A 和 B,其中一条道路含限速瓶颈(例如道路施工,交通事故造成的车辆在某路段只能以较低的速度行驶)。不妨假设瓶颈在道路 A 上,将道路划分为等间距的格点,每个格点的长度为 7.5 km,仅能容纳一辆车。瓶颈区域内车辆的最大速度为 1,相当于 27 km/h;在非瓶颈区域内车辆最大速度为 3,相当于 81 km/h。采用开边界条件,在每一时间步车辆以 λ 的概率到达出发点,若能驶入道路,则车辆按照 NS^[13-14] 规则进行更新。若由于入口附近有车辆占据而不能驶入,则车辆在入口处等待下一时间步进入。初始,假设出发点无车辆,则等待车辆的队列长度(单位为格子数) $l=0$ 。需要强调的是,出行者分为两种类型,一种称为动态出行者,他们按照信息面板上的提示选择道路进入系统;一种

称为静态出行者,他们根据自己的意愿,随机的选择一条道路进入。

首先考虑等待车辆队列长度与时间步(每一时间步相当于 1 s)之间的关系。图 1 显示,存在一个临界车辆到达概率 λ_c ,当 $\lambda < \lambda_c$ 时,双通道入口处不会形成很长的队列;当 $\lambda > \lambda_c$ 时,随着时间的增加,队列长度不断增加,即系统达到了最大的通行能力。

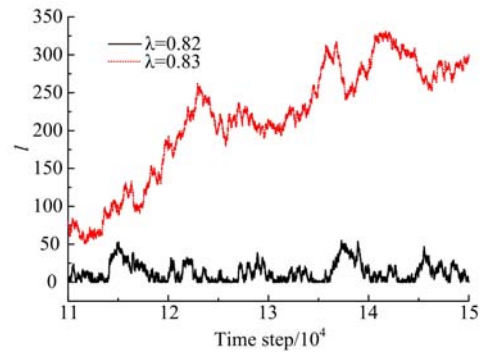


图 1 在不同 λ 下 l 与时间之间的关系

Fig. 1 Evolution of queue length l at different values of λ

2 模拟结果及讨论

在以下的模拟中,道路长度取 $L=6000$ 个格点,相当于 45 km。限速瓶颈长度用 ΔL 表示,在模拟中,若无特别说明,瓶颈位置取在道路 A 的中间。动态出行者与静态出行者所占的比例分别为 S_{dyn} 及 $1-S_{dyn}$ 。由上面的讨论可知 λ_c 是一个表征系统通行能力的量, λ_c 越大,说明系统的通行能力越大,图 2 给出了 λ_c 与动态出行者所占比例之间的关系。易知,当瓶颈长度比较小的时候,三种信息反馈策略中, λ_c 可能在 CCF 下取得最大值,也可能在 MVF 下取得最大值;而当瓶颈长度比较大时, CCF 下得到的 λ_c 总是保持最大。这说

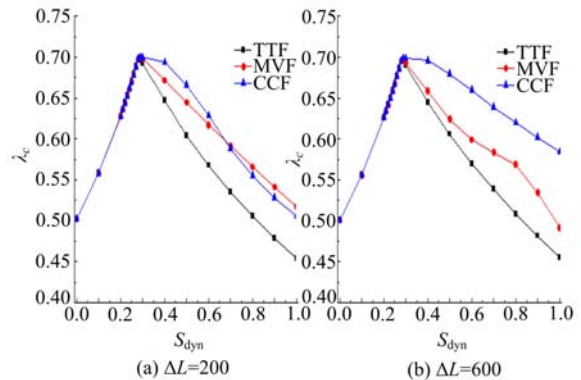


图 2 λ_c 与 S_{dyn} 之间的关系

Fig. 2 λ_c vs S_{dyn} under different feedback information

明最优策略与路况条件有关。

为了解释这种现象,比较两种条件下的时空图(由于 TTF 下得到的 λ_c 总是最小的,这里不再讨论 TTF 的时空图)。由图 3 可知,当 $S_{dyn}=0.4$ 时,采用 CCF,道路 A 和 B 上的车辆数明显高于采用 MVF 的车辆数,即在 CCF 下道路的通行能力大,相应的 λ_c 大。当 $S_{dyn}=0.7$ 时,采用 CCF,道路 B 上由于震荡出现了两个比较大的车辆稀疏带,相应的通行能力降低,导致 λ_c 减小。从而采用 MVF 成为最优策略。在图 4 中,可以看到, $S_{dyn}=0.4$ 和 $S_{dyn}=0.7$ 时,采用 CCF,在瓶颈区域道路 A 上的车辆都比采用 MVF 密集,所以 CCF 一直为最优策略。

接着,研究瓶颈长度对道路通行能力的影响,

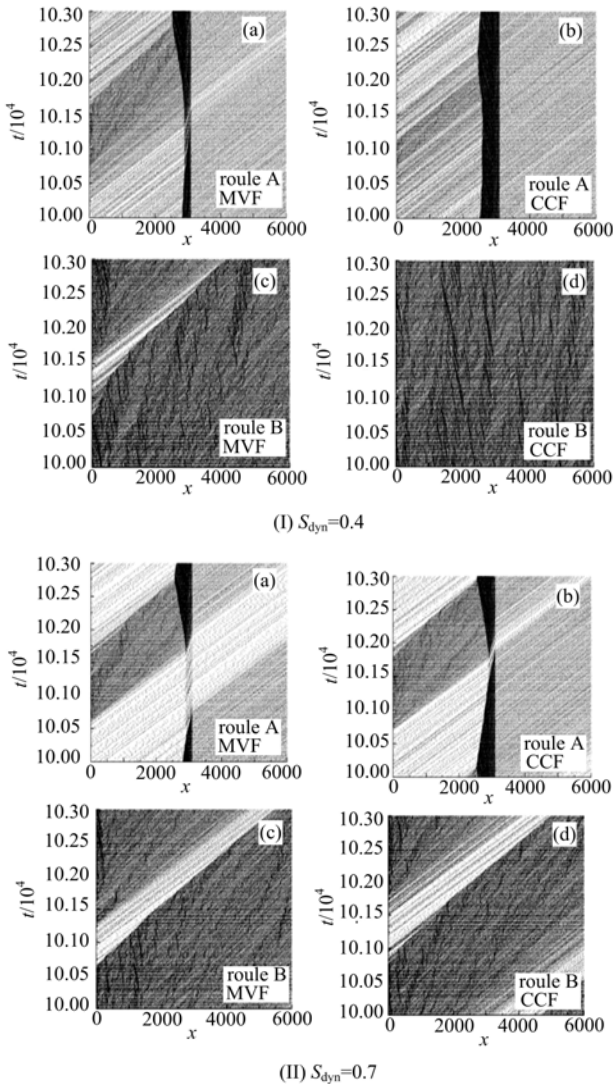


图 3 不同 S_{dyn} 下的时空图(瓶颈长度 $\Delta L=200$)

Fig. 3 Spatiotemporal diagram under different S_{dyn} (Bottleneck length $\Delta L=200$)

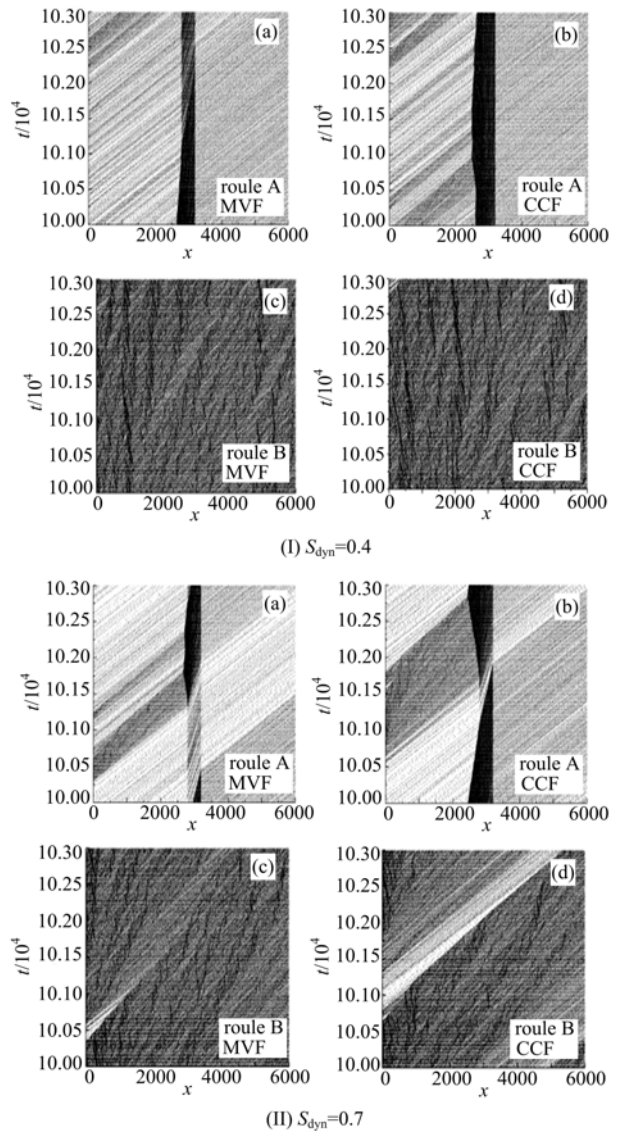
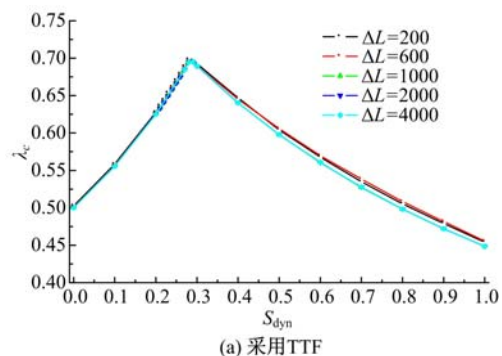


图 4 不同 S_{dyn} 下的时空图(瓶颈长度 $\Delta L=600$)

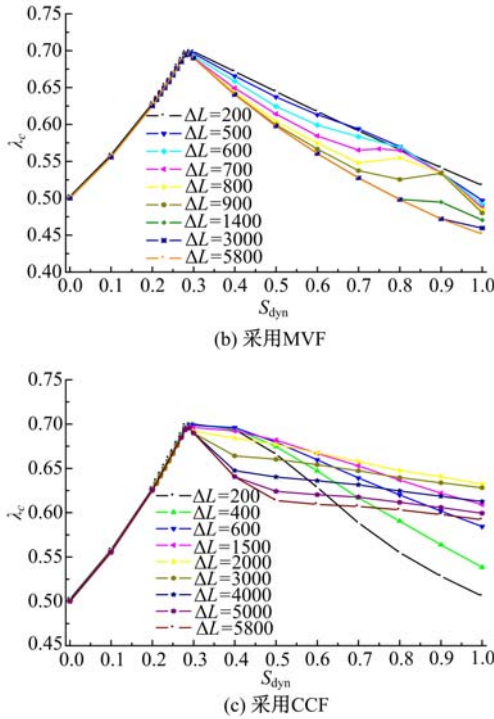
Fig. 4 Spatiotemporal diagram under different S_{dyn}

Bottleneck length $\Delta L=600$

如图 5 所示。可知,采用 TTF 时,瓶颈长度对道路的通行能力几乎没有影响;采用 MVF 时,随瓶颈长度的增加,通行能力降低;采用 CCF 时,通行能力先增加后降低,这是由于道路上车辆数的微



(a) 采用 TTF

图 5 在不同 ΔL 下 λ_c 随 S_{dyn} 的变化Fig. 5 λ_c vs S_{dyn} under different ΔL

小震荡引起的。

3 结束语

采用三种信息反馈策略研究了含瓶颈的双通道交通。模拟结果显示,道路的通行能力与信息反馈有关,当瓶颈长度比较小时,最优策略为 MVF 或 CCF;当瓶颈长度较大时,最优策略为 CCF 保持不变。在实际的交通中,瓶颈长度一般不是固定不变的,所以为了充分利用现有的道路设施,道路管理者应该根据具体的路况条件,采取更为合理的管理措施。本文研究对交通管理具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] Helbing D. Traffic and related self-driven many particle systems[J]. Rev Mod Phys, 2001, 73:1067-1141.

[2] Chowdhury D, Santen L, Schadschneider A. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems[J]. Phys Rep, 2000, 329: 199-329.

[3] Nagatani T. The physics of traffic jams[J]. Rep Prog Phys, 2002, 65: 1331-1386.

[4] 贾斌, 高自友, 李克平, 等. 基于元胞自动机的交通系统建模与模拟[M]. 北京:科学出版社,2007.

[5] Richard A, Andre de Palma, Robin L. Does providing information to drivers reduce traffic congestion [J]. Transp Res, Part A, 1991,25(5): 309-318.

[6] Bonsall P. The influence of route guidance advice on route choice in urban networks[J]. Transportation, 1992,19:1-23.

[7] Adler J, Blue V. Toward the design of intelligent traveler information systems [J]. Transp Res C, 1998,6: 157-172.

[8] Dia H, Purchase H. Modelling the impacts of advanced traveler information system using intelligent agents[J]. Road Transp Res, 1999,8:68-73.

[9] Wahle J, Lúcia A, Bazzan C, et al. Decision dynamics in a traffic scenario[J]. Physica A, 2000,287: 669-681.

[10] Wahle J, Lúcia A, Bazzan C, et al. The impact of real-time information in a two-route scenario using agent-based simulation[J]. Transp Res C, 2002,10: 399-417.

[11] Lee K, Hui P M, Wang B H, et al. Effects of announcing global information in a two-route traffic flow model[J]. J Phys Soc Jpn, 2001, 70: 3507-3510.

[12] Wang W X, Wang B H, Zheng W C, et al. Advance information feedback in intelligent traffic systems [J]. Phys Rev E, 2005,72:066702.

[13] Nagel K, Schreckenberg M. A Cellular automaton model for freeway traffic[J]. J Phys I (France), 1992,2: 2221-2229.

[14] Schreckenberg A, Schreckenberg M. Cellular-automaton models and traffic flow[J]. J Phys A, 1993,26: 679-683.