

文章编号:1007-6735(2012)01-0014-04

考虑车辆间博弈行为的交通流

孙晓燕¹, 汪秉宏^{2,3}

(1. 广西师范学院 物理与电子工程学院, 南宁 530023; 2. 中国科学技术大学 近代物理系, 合肥 230026;
3. 上海理工大学 复杂系统科学研究中心, 上海 200093)

摘要: 从二维城市道路元胞自动机交通流模型和一维道路元胞自动机模型两个方面介绍车辆间博弈行为对交通流的影响. 总结了目前交通流研究中引入合作者和背叛者之后, 道路交通状况的改变. 通过考虑车辆之间的博弈行为, 研究司机驾驶行为对道路上车流量的影响, 希望找到能使交通系统车流量达到最大的驾驶行为准则.

关键词: 交通流; 博弈; 元胞自动机模型; BML 模型

中图分类号: N 94 **文献标志码:** A

The Traffic Flow Considering Games between Vehicles

SUN Xiao-yan¹, WANG Bing-hong^{2,3}

(1. College of Physics and Electronic Engineering, Guangxi Teacher Education University, Nanning 530023, China;
2. Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;
3. The Research Center for Complex Systems Science, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The influences of drivers' game behaviors on two and one dimensional cellular automaton traffic flow models were discussed. When introducing cooperators and defectors, the changing of traffic situation was summarized. Through considering games between drivers and studying the influence of drivers' behaviors on traffic flow, the rules to maximize the flux of traffic system were tried to achieve.

Key words: traffic flow; game; cellular automaton model; BML model

自从数学家 Neumann 和经济学家 Morgenstem 的合著《博弈论与经济行为》问世以来^[1], 人们开始运用博弈论方法来分析经济竞争、军事冲突及物种演化等问题. 在 20 世纪 90 年代, 一些学者将博弈论概念引入物理课题方面的研究工作中^[2-3]. 2007 年, Matjaž^[4] 首次采用博弈论中的囚徒困境模型^[5]

和铲雪模型^[6] 研究二维城市道路交通流——BML 模型^[7] (Biham, Middleton 和 Levine 提出的第一个二维道路交通流元胞自动机模型, 简称 BML 模型), 开启了考虑车辆间博弈行为交通流研究的先河.

在城市道路或高速公路等实际交通中, 车辆驾

收稿日期: 2012-01-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11147135, 91024026, 10975126); 广西教育厅基金资助项目(200103YB071)

作者简介: 孙晓燕(1978-), 女, 副教授. 研究方向: 交通流、博弈. E-mail: sunxy_78@163.com

汪秉宏(联系人), 男, 教授. 研究方向: 统计物理、非线性科学、复杂系统理论. E-mail: bhwang@ustc.edu.cn

驶员(司机)要遵守一定的交通规则.但有些规则不足以细致到考虑各种情况,所以司机会对行驶状况作出主观性的判断,并以此来决定车辆的行进.例如,当两辆车同时想进入一个空位时,是没有规则来约束哪一方应该先进入的,于是两位司机就会出现行为冲突,给道路的状况带来不确定性.这种双方心理出现对峙,一方的行为结果不但取决于自己的决定,还要受另一方行为影响的现象,可以用博弈理论来描述.

通过考虑车辆之间的博弈行为,研究司机驾驶行为对道路上车流量的影响,模拟城市道路或多车道交通系统中车流的变化规律,希望找到能使交通系统(整条道路或整个城市)车流量达到最大的驾驶行为准则,并以此来指导司机的行为,更好地设计交通中的行驶规则,达到有利于交通堵塞的缓解、抑制,提高驾驶的安全性,降低能耗和减少污染的目的.同时,找到适合交通规则的个体收益矩阵,研究司机合作频率对整体收益的影响.

1 国内外研究现状分析

目前,考虑车辆间博弈行为的交通流研究主要针对元胞自动机模型或其扩展模型,所以本节从二维城市道路元胞自动机交通流模型和一维道路元胞自动机模型两个方面介绍车辆间博弈行为对交通流的影响.

1.1 考虑车辆间博弈行为的二维城市道路交通流

前面已经提到,首先将博弈论引入交通流研究的是著名博弈论学者 Matjaž^[4],表 1 是道路上相邻两辆车 i, j 的收益矩阵,其中 C 表示车辆驾驶员是合作者(合作者是指当要与另一辆车发生抢道冲突时,此驾驶员会首先进行“协商交流”,而后决定何方先行), D 表示车辆驾驶员是背叛者(背叛者是指当两车遇到冲突时,不管对方行为如何,自己总是选择加速试图抢先通过).收益矩阵表明,合作者相遇时,两辆车都会前进一步;背叛者相遇时,作为惩罚两辆车都停止不前;合作者和背叛者相遇时,合作者后退一步,背叛者前进两步.

表 1 收益矩阵
Tab.1 Payoff matrix

i/j	C	D
C	1/1	-1/2
D	2/-1	0/0

研究结果显示,与传统的 BML 模型^[7]比较,考虑驾驶员之间的博弈行为时,从自由流相到阻塞相的相变密度降低了(见图 1).在图 1 中,黑色的圆圈表示传统 BML 模型的相变,红色十字表示考虑了车辆之间博弈行为的 BML 模型的相变.

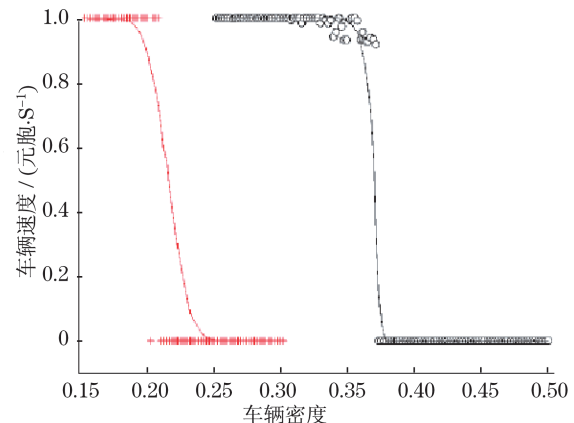


图 1 从自由流状态(车辆速度 = 1)到完全堵塞状态(车辆速度 = 0)的相变

Fig.1 Phase transitions from the free flowing (vehicles velocity = 1) to the fully jammed (vehicles velocity = 0) state

随后,中国科学技术大学孙舵博士在 Matjaž 的研究基础上,考虑了驾驶员的微观心理状态,将 BML 模型中的交通灯控制改为同步更新策略,提出了一种新的车辆间相互博弈模型^[8].表 2 是车辆间的博弈行为规则,当合作者相遇时,两辆车分别以 0.5,0.5 的概率前进一步;当两背叛者相遇时,两车都刹车停止;当合作者与背叛者相遇时,合作者刹车停止,背叛者前进一步.当车辆间博弈行为发生后,下一步驾驶员更新自己的策略;当合作者 C 遇到合作者 C 时,下一步策略仍选择合作;当背叛者 D 遇到合作者 C 后,下一步策略还为背叛;当合作者 C 遇到背叛者 D 后,下一步策略依概率 $P(C-D) = 1/[1 + e^{-k(U_D - U_C)}]$ 转变为 D ;当背叛者 D 遇到背叛者 D 后,下一步策略依概率 $P(D-C) = 1/[1 + e^{-k(U_C - U_D)}]$ 转变为 C .其中, k 为噪声项; U_D 表示背叛者的收益; U_C 表示合作者的收益.

表 2 车辆间的博弈行为规则
Tab.2 Rules of game between vehicles

行驶概率	C	D
C	0.5/0.5	0/1
D	1/0	0/0

研究结果显示,除了自由流相和完全堵塞相,系统又出现了两个新的相,定义为分离相和中间相(见参考文献[8]中的图3.2和图3.3).文献[8]的研究表明,考虑车辆间博弈行为的二维城市交通流模型中,与全部驾驶员都为合作者相比,混入一部分背叛者能使整个系统运行的更有效率.并且,在一定条件下,采用规则鼓励和加大背叛者向合作者转变的概率,可以更好地促进车辆运行通畅.

1.2 考虑车辆间博弈行为的一维道路交通流

首先将博弈理论引入一维道路交通流研究的是Atsuo等^[9],利用随机最优速度模型(stochastic optimal velocity model)研究了并道(双道合并为单道)交通系统,发现在车流密度较高时,司机总是试图在低密度道路上行驶的驾驶行为(文章将此驾驶员定义为背叛者)引起了严重的交通拥堵.接着,Makoto等将 n 人博弈论引入S-NFS模型(the stochastic Nishinari-Fukui-Schadschneider model),进一步研究了文献[9]中的并道交通系统,发现在道路合并之前,背叛者从第一条道路驶入第二条道路的驾驶行为造成了严重的交通拥堵,降低了交通系统的流量^[10].

最近,孙晓燕等在一维周期边界条件下的交通流模型中引入了博弈规则^[11],车辆间的博弈行为按照表2的规则,当车辆间博弈行为发生后,下一步驾驶员策略更新见参考文献[11].研究结果显示,道路上车辆平均密度存在一个临界值 ρ_{cr} ,当车辆平均密度小于 ρ_{cr} 时,系统经历了一个短暂的过渡以后,背叛者比例 f_d 随时间 t 呈指数衰减;当道路上车辆密度大于 ρ_{cr} 时,系统经历了一个短暂的过渡以后,背叛者比例 f_d 保持为一个不变的常数(见图2所示).随后,作者采用平均场理论,分析了道路上合作者比例随时间的变化以及车辆的平均流量随车辆平均密度的变化.结果显示,由于背叛者的引入,道路上车辆的平均流量降低了.

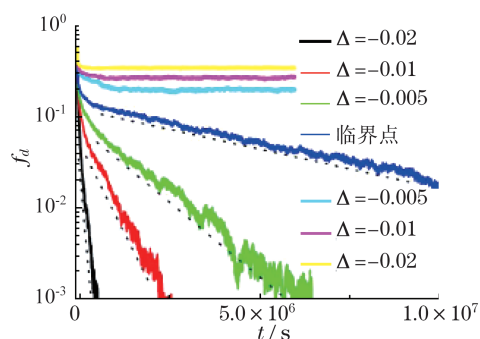


图2 半对数坐标下背叛者比例随时间的变化 ($\Delta = \rho - \rho_{cr}$)

Fig.2 Semi-log plot of f_d as a function of t for different values of $\Delta = \rho - \rho_{cr}$

在文献[11]的基础上,作者将单道扩展到双道交通流模型,在车辆换道时考虑了车辆间的博弈行为^[12](见图3).图中 l_1, l_2 表示车道; α 为车辆在入口处的进入概率; β 为车辆在出口处的离开概率.车辆间的博弈行为规则及更新规则与文献[11]中的模型相同.

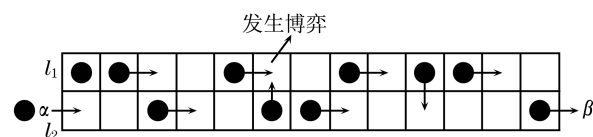


图3 引入博弈规则的开边界双道交通流模型

Fig.3 The two-lane traffic flow model with game rules under open boundary condition

图4显示了不同初始合作比例 f_{c0} 条件下的相图LL表示两条道路都是低密度,HH表示两条道路都是高密度.可见,随着初始合作比例的增加,车辆处于密度较低的自由流区域逐渐扩大,说明合作增加了车辆的流动性,即合作者的增加有利于提高道路上车辆的平均流量.

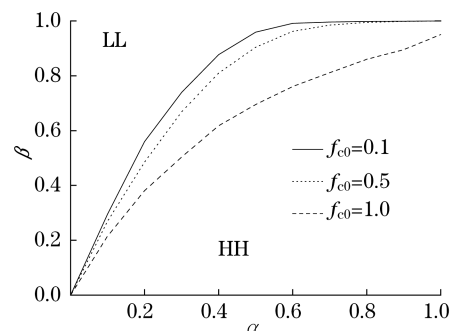


图4 模型的相图

Fig.4 Phase diagram of the model

2 总结与讨论

本文总结了近几年来,考虑车辆间博弈行为的一维和二维道路交通流的研究成果.目前,研究刚刚处于起步阶段,所研究的交通流模型也只是微观的元胞自动机模型.但是,正如Matjaž在文章中指出^[4]:“We hope that the present study will be a source of inspiration, spawning new studies in the apparently very fruitful and interesting combination of traffic flow simulations and evolutionary game theory.”各国学者也开始关注这个研究方向的发展,一些研究结果也陆续发表在国际权威刊物上^[4,9-11,13].日本东京大学学者西城活域教授也注

意到博弈论在交通流研究中所起的重要作用,在刚刚出版的交通流专著《堵塞学》中详细阐述了博弈论的基本理论^[14];德国著名交通流专家 Drik 教授近年来也十分关注交通流与博弈论的结合^[15].从微观方面引入博弈理论研究道路上车辆之间发生潜在冲突时驾驶员的反应及行为,以及由此行为表现出来的宏观交通流特性,有助于找到符合整体交通最大化利益(道路上车辆流量达到最大)的行为准则,并以此来指导车辆驾驶者的行为,可以更好地设计交通行驶规则.另外,交通流理论模型也包括宏观模型和介观模型,如何将博弈理论引入这两种模型中,也是今后需要研究的一个重要内容.

参考文献:

- [1] Neumann J, Morgenstern O. Theory of games and economic behavior[M]. Princeton: Princeton University Press, 1944.
- [2] Szabó G, Tóke C. Evolutionary prisoner's dilemma game on a square lattice[J]. Physical Review E, 1998, 58(1): 69-73.
- [3] Hauert C, Szabó G. Game theory and physics [J]. American Journal of Physics, 2005, 73(5): 405-414.
- [4] Matjaž P. Premature seizure of traffic flow due to the introduction of evolutionary games[J]. New Journal of Physics, 2007, 9(1): 3-17.
- [5] Axelrod R. The evolution of cooperation [M]. New York: Basic Books, 1984.
- [6] Hofbauer J, Sigmund K. Evolutionary games and population dynamics [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- [7] Biham O, Middleton A A, Levine D. Self-organization and a dynamical transition in traffic-flow models[J]. Physical Review A, 1992, 46(10): 6124-6127.
- [8] 孙舵. 道路交通流元胞自动机模型中的相变现象研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011: 39-51.
- [9] Atsuo Y, Jun T, Aya H, et al. Dilemma game structure observed in traffic flow at a 2-to-1 lane junction[J]. Physical Review E, 2009, 79(3): 036104.
- [10] Makoto N, Atsuo Y, Jun T, et al. Dilemma game structure hidden in traffic flow at a bottleneck due to a 2 into 1 lane junction[J]. Physica A, 2010, 389(23): 5353-5361.
- [11] Sun X Y, Jiang R, Hao Q Y, et al. Phase transition in random walks coupled with evolutionary game [J]. Europhysics Letters, 2010, 92(1): 18003.
- [12] 孙晓燕. 交通流复杂动态特性的元胞自动机模型研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010: 57-68.
- [13] Hao Q Y, Jiang R, Wu Q S. Pedestrian flow dynamics in a lattice gas model coupled with an evolutionary game [J]. Physical Review E, 2011, 84 (2/3): 036107.
- [14] 西城活域. 堵塞学[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 2011.
- [15] Dirk H. Pattern formation, social forces, and diffusion instability in games with success-driven motion [J]. The European Physical Journal B, 2009, 67 (3) :345-356.
-
- (上接第 5 页)
- [29] Goncalves B, Ramasco J J. Human dynamics revealed through web analytics [J]. Phys Rev E, 2008, 78 (2):026123.
- [30] Hidalgo C. Conditions for the emergence of scaling in the inter-event time of uncorrelated and seasonal systems[J]. Physica A, 2006, 369(2):877-883.
- [31] Wang P, Lei T, Yeung C H, et al. Heterogenous human dynamic in intra and inter-day time scale[J]. Europhysics Letters, 2011, 94(1):18005.
- [32] Wang P, Xie X Y, Yeung C H, et al. Heterogenous scaling in interevent time of on-line bookmarking [J]. Physica A, 2011, 390(12):2395-2400.
- [33] Goh K I, Barabási A L. Burstiness and memory in complex systems[J]. Europhys Lett, 2008, 81(4):48002.
- [34] Grabowski A. Human behavior in online social systems[J]. European Physical Journal B, 2009, 69(4):605-611.