

# 利用智能决策的双通道交通流<sup>\*</sup>

付传技 汪秉宏 殷传洋 高 坤

(中国科学技术大学近代物理系,非线性科学中心,合肥 230026)

(2005 年 6 月 19 日收到,2006 年 4 月 13 日收到修改稿)

考虑依据信息反馈进行智能决策的双通道交通流问题,获得一定信息时,好的决策可以使效率提高.多个体资讯的分析及经验的反馈、判断、再适应是一个多个体复杂适应系统的本质性质,交通流也明显带有以上特性.研究表明,如果机械地利用不好的反馈信息,系统将会存在很大的振荡;智能地利用反馈信息,可以提高系统利用效率.因此,应在尽可能地提供好的反馈信息的同时合理地利用它们.

关键词:元胞自动机,信息反馈,机械决策,智能决策

PACC: 0550, 0520, 0570J

## 1. 引 言

从物理学的角度看,许多复杂系统的问题都带有相当大的挑战性<sup>[1-3]</sup>.交通流是一个多粒子相互作用体系,展现出了各种复杂的非线性现象,如孤立波、幽灵堵塞、时走时停交通和同步交通等<sup>[4-6]</sup>.对这些交通现象的深入研究和应用有助于节省投资,减少经济损失.近年来,交通流理论的研究显得日益重要.元胞自动机(cellular automaton,简称CA)是一种只考虑近邻局部相互作用,空间和时间完全离散的并行计算机模型.它可以很好地模拟真实的交通流行为,且便于在计算机上操作,因而已成为模拟交通流和研究交通问题的一种重要工具<sup>[7-11]</sup>.

基于 184 号规则的 Wolfram CA 模型,是一维交通流的最基本模型.粒子(代表车辆)在一维格点链(代表高速公路)上运动.所有的车辆,在同一时步中只要其前方紧邻的格点未被占据,则在下一时步中均可向前运动一个格点.为了模拟车辆的加速行为和由于司机对环境反应的不同引起的车辆随机延迟行为,德国学者 Nagel 和 Schreckenberg<sup>[12]</sup>在 1992 年提出了一维交通流元胞自动机模型(NS 模型).NS 模型是一个随机 CA 交通流模型,每辆车的状态都由它的速度  $v_n$  和位置  $x_n$  所表示,速度  $v_n$  允许在取值范围为  $\{0, 1, 2, \dots, v_{\max}\}$  的  $v_{\max} + 1$  个值内任取其一,  $d_n = x_{n+1} - x_n$  表示第  $n$  辆车与前面第  $n + 1$  辆车

之间的间距.每个时间步  $t \rightarrow t + 1$ ,长度为  $L$  的一维格点链上分布的  $N$  辆车,其状态按照以下演化规则并行更新.

1) 加速过程

$$v_n \rightarrow \min(v_n + 1, v_{\max}).$$

2) 安全刹车过程

$$v_n \rightarrow \min(v_n, d_n - 1).$$

3) 随机慢化过程(以随机慢化概率  $p$ )

$$v_n \rightarrow \max(v_n - 1, 0).$$

4) 位置更新

$$x_n \rightarrow x_n + v_n.$$

每辆车按上述演化规则进行运动,车辆的速度和位置同时更新.随着车辆密度增加,系统会发生由运动到阻塞的临界“相变”,NS 模型能较好地再现高速公路上车辆畅行和阻塞形成的基本特征.

然而,真实的交通行为是与环境信息紧密相关的.从广义角度看,我们每天都会遇到各种各样的问题,需要我们依据有限的信息进行合理的决策.城市的交通状况,就是由多个个体的决策所引起的宏观效应.有趣的是,尽管大多数人所考虑的是自己的利益,很少会有人故意走一条可以让别人省时的路,但很多时候多个体分别争取对自己最有利的安排时,却也很好利用了整体的资源.通过合理地利用反馈信息,道路的使用效率会变得更高.可以看到多个体资讯的分析及经验的反馈、判断、再适应,最后合理地利用反馈信息是多体复杂适应系统的本质.交

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(批准号:70271070, 10472116, 70471003)资助的课题.

通流明显带有以上特性,研究复杂适应系统与交通流之间的关系和相似之处,是智能交通研究的一个重要分支.

本文利用一个双通道决策的模型,研究了合理利用反馈信息在决策过程中的重要性.

## 2. 模型的引入

考虑一个由两条具有相同入口和相同长度的通道 A 和通道 B 组成的交通系统.系统可以看作一条公路( $W_{star}$ )分叉出来的两条支路,然后又合成为一条较宽的公路( $W_{end}$ ).因此,从公路  $W_{star}$  驶入的车辆面临着走通道 A 或通道 B 的选择.每一时步有一辆车想要进入其中一条道路.进入该系统的车辆分为普通车和流动车.区别于普通车的是流动车可以实时地将当前的路况信息(如车辆行驶速度、时间等),反馈给系统入口处的车辆,以供他们选择进入哪一条道路.车辆按照选择道路的方式又分为静态车和动态车.静态车将忽略流动车反馈的实时信息而随机或偏好地选择一条道路进入;动态车则参考这些实时交通信息进行选择.车辆一旦进入某条道路,将以基本的交通流 CA 模型行驶,直至驶离该条道路.如果道路上的车辆按照 NS 模型规则行驶,文献[13]中主要讨论了道路长度  $L$ ,动态车占总车辆数的比例  $S_d$ ,NS 模型的随机慢化概率  $p$  以及流动车的比例  $S_{fc}$  对模型结果的影响.研究表明,动态车机械地利用信息,反而使得资源利用率下降.

本文中采取智能利用所得信息的方法,结果表明资源利用率得到明显提高.假设比例为  $S_d$  的驾驶者是会分析反馈信息并利用合理策略进行选择的动态车,比例为  $(1 - S_d)$  的静态车驾驶者则以  $q$  的概率进入通道 A,  $1 - q$  的概率进入通道 B.对静态车而言,偏好属性  $q = 0.5$  表示静态车无偏好地随机选择一条通道进入;  $q = 1$  则表示对通道 A 具有强烈的偏好,即无论如何它们都必定进入通道 A.

由于反馈信息并不一定是最佳的,常常伴有滞后性等缺点,所以如果只是机械地利用这些信息,反而可能会使资源的利用率下降,如文献[13]指出的那样.为让动态车依据经验和智慧做一些明智的选择,设获得的反馈信息为  $i$ ,动态车以反馈信息的某一函数形式  $u(i)$  的概率选择驶入通道 A,而以  $1 - u(i)$  的概率进入通道 B.本文中,如果流动车反馈回来的信息为通过某一通道所花费时间时,动态车

利用的策略是:如果  $\tau_1 > \tau_2$ ,则动态车以

$$w_1 = \frac{1}{2} - \lambda \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1}$$

的概率进入通道 A,以  $1 - w_1$  的概率进入通道 B;反之,  $\tau_1 < \tau_2$ ,则动态车以

$$w'_1 = \frac{1}{2} - \lambda \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_2}$$

的概率进入通道 B,以  $1 - w'_1$  的概率进入通道 A;如果恰巧  $\tau_1 = \tau_2$ ,则动态车随机进入一条通道.反馈信息为两条通道上的车流平均速度时,动态车利用的策略是:如果  $V_1 > V_2$ ,则动态车以

$$w_2 = \frac{1}{2} + \lambda \frac{V_1 - V_2}{V_1}$$

的概率进入通道 A,以  $1 - w_2$  的概率进入通道 B;反之,  $V_1 < V_2$ ,动态车以

$$w'_2 = \frac{1}{2} + \lambda \frac{V_2 - V_1}{V_2}$$

的概率进入通道 B,以  $1 - w'_2$  的概率进入通道 A;如果恰巧  $V_1 = V_2$ ,则动态车随机进入一条通道.

## 3. 模型的数值模拟

车辆在每条通道的行驶用 NS 模型规则来模拟.通道 A 和通道 B 的长度均为  $L = 2000$ ,车辆最大速度  $v_{max} = 3$ ,随机慢化概率  $p = 0.25$ .当驾驶者选择好要进入的通道后,是否可以进入还要看所选定的通道口是否已经被车辆占据,如果已被占据则这一时步便没有车辆进入系统.为简单假设所有车辆均为流动车(即所有车辆都可以反馈信息).按照以上规则进行数值模拟,图 1 中给出静态车随机选择(即  $q = 0.5$ ).动态车根据流动车反馈的信息选择时的情况.动态车和静态车在车流总量中的比例各占一半.反馈时间信息时,如果动态车机械地利用信息,这是指:如果车辆通过通道 A 的时间  $\tau_1$  比通过通道 B 的时间  $\tau_2$  长,此车辆选择驶入通道 B;反之,此车辆选择驶入通道 A;如果恰巧  $\tau_1 = \tau_2$ ,此车辆随机进入一条通道.由于通行时间信息的滞后性,  $\tau_1$  和  $\tau_2$  的差别并不反映当前通道 A 和通道 B 的拥挤差异,因此动态车的选择并不一定是明智的.事实上,正是这一点造成了每条通道上车辆数  $N$ 、流动车所发布的通行时间  $\tau_{travel}$  以及车流平均速度  $V$  随时间  $t$  的振荡,如图 1(a)(c)(e)(f)所示.同样是反馈时间信息,如果动态车不是机械地利用信息,而是依据以上

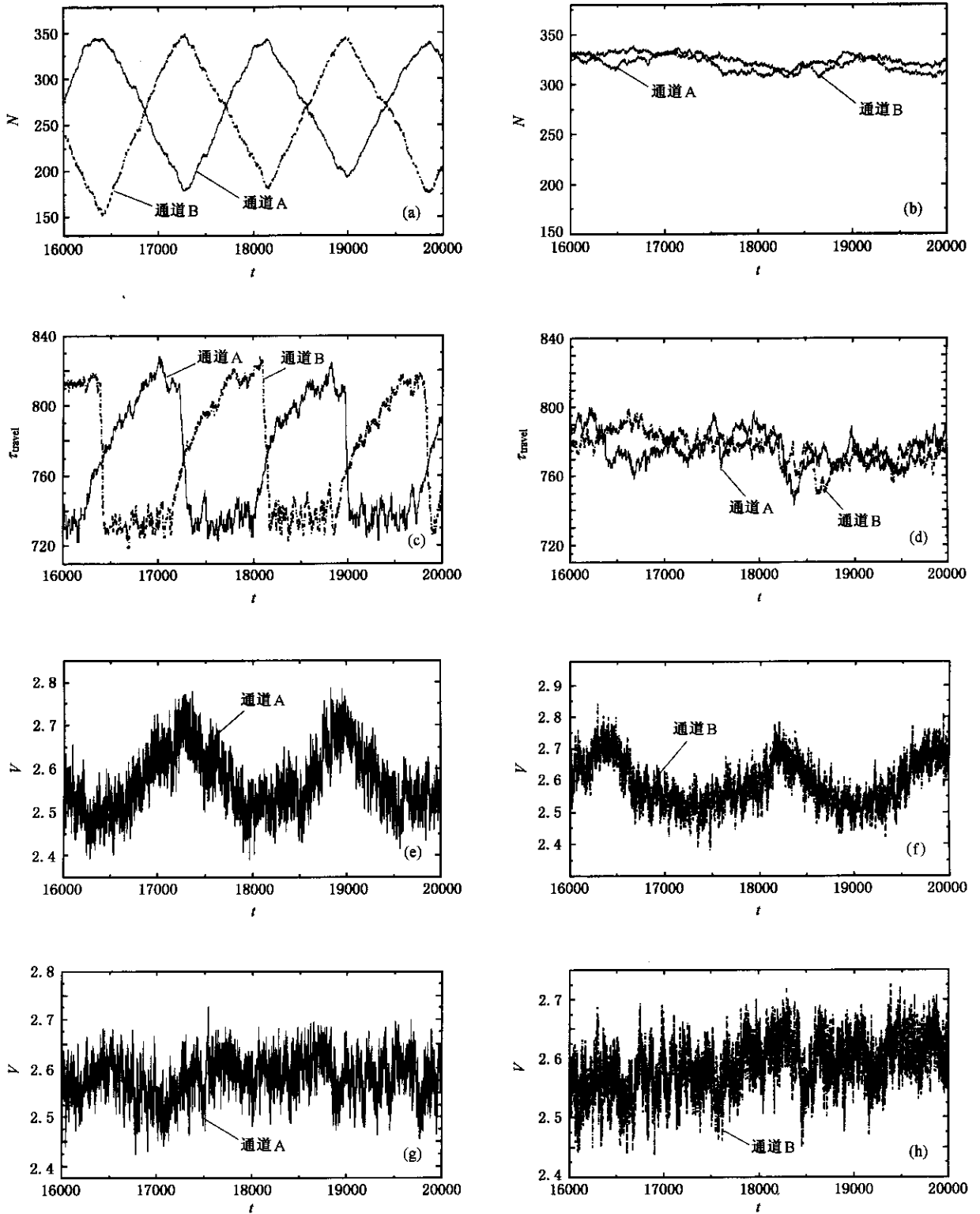


图1 反馈信息为通行时间时,两种策略下每条通道上的车辆数  $N$ 、通行时间  $\tau_{\text{travel}}$  和平均速度  $V$  随时间  $t$  的变化 (a)机械决策时,通道 A、通道 B 中车辆数  $N$  随时间  $t$  的变化 (b)智能决策时,通道 A、通道 B 中车辆数  $N$  随时间  $t$  的变化 (c)机械决策时,通道 A、通道 B 中流动车所发布的通行时间  $\tau_{\text{travel}}$  随时间  $t$  的变化 (d)智能决策时,通道 A、通道 B 中流动车所发布的通行时间  $\tau_{\text{travel}}$  随时间  $t$  的变化; (e)机械决策时,通道 A 中车辆平均速度  $V$  随时间  $t$  的变化 (f)机械决策时,通道 B 中车辆平均速度  $V$  随时间  $t$  的变化 (g)智能决策时,通道 A 中车辆平均速度  $V$  随时间  $t$  的变化 (h)智能决策时,通道 B 中车辆平均速度  $V$  随时间  $t$  的变化

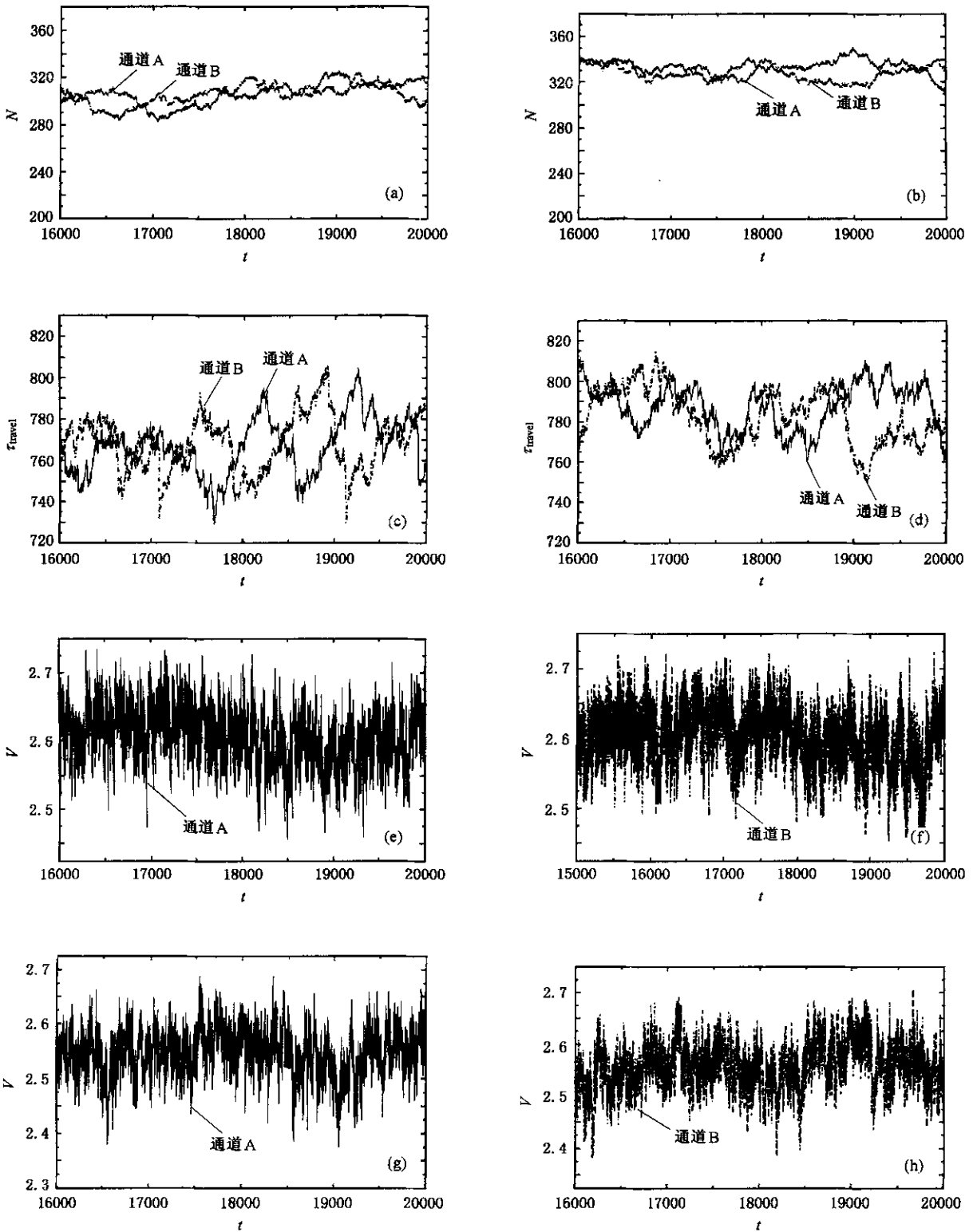


图2 反馈信息为平均车速时,两种策略下每条通道上的车辆数  $N$ 、通行时间  $\tau_{travel}$  和平均速度  $V$  随时间  $t$  的变化 (a)机械决策时,通道 A、通道 B 中车辆数  $N$  随时间  $t$  的变化 (b)智能决策时,通道 A、通道 B 中车辆数  $N$  随时间  $t$  的变化 (c)机械决策时,通道 A、通道 B 中流动车所发布的通行时间  $\tau_{travel}$  随时间  $t$  的变化 (d)智能决策时,通道 A、通道 B 中流动车所发布的通行时间  $\tau_{travel}$  随时间  $t$  的变化; (e)机械决策时,通道 A 中车辆平均速度  $V$  随时间  $t$  的变化 (f)机械决策时,通道 B 中车辆平均速度  $V$  随时间  $t$  的变化 (g)智能决策时,通道 A 中车辆平均速度  $V$  随时间  $t$  的变化 (h)智能决策时,通道 B 中车辆平均速度  $V$  随时间  $t$  的变化

提到的策略,即如果  $\tau_1 > \tau_2$ , 动态车以  $w_1$  的概率进入通道 A, 以  $1 - w_1$  的概率进入通道 B; 反之,  $\tau_1 < \tau_2$ , 动态车以  $w'_1$  的概率进入通道 B, 以  $1 - w'_1$  的概率进入通道 A; 如果恰巧  $\tau_1 = \tau_2$ , 则动态车随机进入一条通道. 图 1 中 (b) (d) (g) (h) 显示的是  $\lambda = 1$  时每条通道上车辆数  $N$ 、流动车所发布的通行时间  $\tau_{travel}$  以及车流平均速度  $V$  随时间  $t$  的变化, 从中可以看出振荡得到明显改善. 图 2 中显示的分别是反馈信息为通道 A 和通道 B 的平均车流速度  $V$  时的情况. 图 2 (a) (c) (e) (f) 为动态车机械决策 (即动态车一定进入平均速度的大的通道) 时的结果. 图 2 (b) (d) (g) (h) 为动态车智能决策 ( $\lambda = 1$ ) 时的结果. 如图 2 所示, 智能地利用信息比机械地利用信息道路利用率提高不多, 这反映了利用速度的反馈信息已经比较理想, 能够很好地反映道路真实的拥挤程度.

流量是平均车辆速度与车辆密度的乘积, 系统流量  $F$  (两条路径流量的平均值) 也是用于衡量路径效率的物理量之一. 图 3 给出了系统流量  $F$  与动态车比例  $S_d$  的关系. 静态车无偏好即  $q = 0.5$  时, 结果显示机械地利用信息时加入动态车只会降低系统流量, 由于反馈信息的滞后性, 发放通过时间信息时系统流量随动态车的增加而大幅下降, 发放车速信息虽然好一些, 但是随着动态车的增加系统流量也有所下降; 而合理地利用信息时, 系统流量一直保持在较高值. 现实中, 为了获取好的反馈信息或者增加反馈的信息量, 通常花费比较高, 有时甚至是根本不知道什么是最好的信息, 这时合理利用可以获得的有限信息就变得尤为重要. 如获得车速信息需要知道每时步每辆车的即时速度, 而获得通过时间信息只需要驾驶者在出口处发放一个信息, 显然获得通过时间信息要比获得车速信息更容易且花费较少. 但是, 合理地利用了反馈的时间信息后可以获得比机械地利用车速信息更好的效果. 因此, 智能地利用现实可提供的有限信息是提高交通效能的一种行之有效的办法. 从图 3 可以看出, 无论是哪种方式, 系统的流量都不大于全部是静态车 ( $S_d = 0$ ) 时的流量. 这是由于模型的理想性造成的, 此时系统是对称的, 静态车的选择也是对称的, 这样最大限度地利用了系统资源. 但是这种情况现实中很少, 在不依赖任何反馈信息的时候, 人们的选择通常不是对称的. 而且由于诸多现实条件的制约, 车辆对于道路的选择常

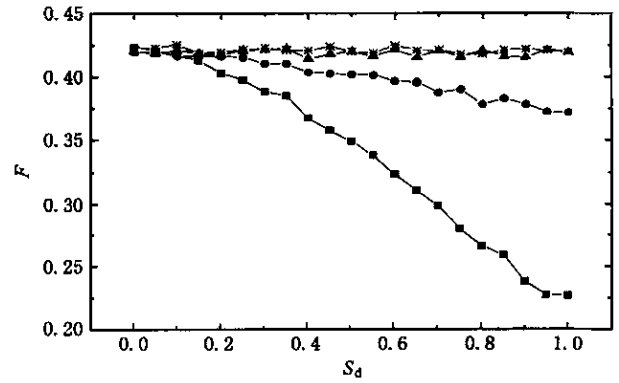


图 3 系统流量  $F$  与动态车比例  $S_d$  的关系. 静态车无偏好地选择路径, 即  $q = 0.5$ . —■— 为反馈通行时间信息时机械决策, —▲— 为反馈通行时间信息时智能决策, —●— 为反馈车流平均速度信息时机械决策, —\*— 为反馈车流平均速度信息时智能决策

常有必须的偏好, 例如要求只走通道 A 等等. 并且抵达入口处的车辆数随时间的不均匀性等因素, 现实中无法以最大限度利用资源为目的, 对通道的选择进行人为的安排以形成一个对称的系统. 还有该模型中的每条通道均为单车道这在现实中也是不常见的.

由于两条通道是全同的, 考虑静态车的选择不是对称的情况只需考虑  $q > 0.5$  的情形. 图 4 显示了  $q = 0.7$  和  $q = 0.9$  时系统流量与动态车比例  $S_d$  的关系. 机械地利用反馈信息时, 系统流量随动态车增加先升高后降低. 而智能地利用反馈信息时, 系统流量随动态车比例增加而升高直至稳定, 并且在  $S_d$  较大时系统流量高于机械地利用反馈信息的系统流量. 这是由于当动态车比例小时, 大量静态车的偏好选择使得道路的利用率不对称从而系统没有被充分利用所以流量变小. 随着动态车比例的增加, 动态车的决策改善了这种不对称性, 因此系统的利用率随着动态车的增加而增加. 图 4 表明: 动态车比例小于某一  $S_d$  前机械地利用反馈信息系统流量增加得快. 这是因为此时动态车比例小, 机械地利用反馈信息可以更大程度上扭转这种不对称性. 但当动态车比例一旦超过此  $S_d$  值时, 机械地利用反馈信息反而会使系统流量变小. 因为此时动态车的决策占优势, 如果机械地利用反馈信息, 由于反馈的信息具有延迟性等缺点, 从而引起两条通道的拥挤程度的振荡, 致使系统流量  $F$  变小.

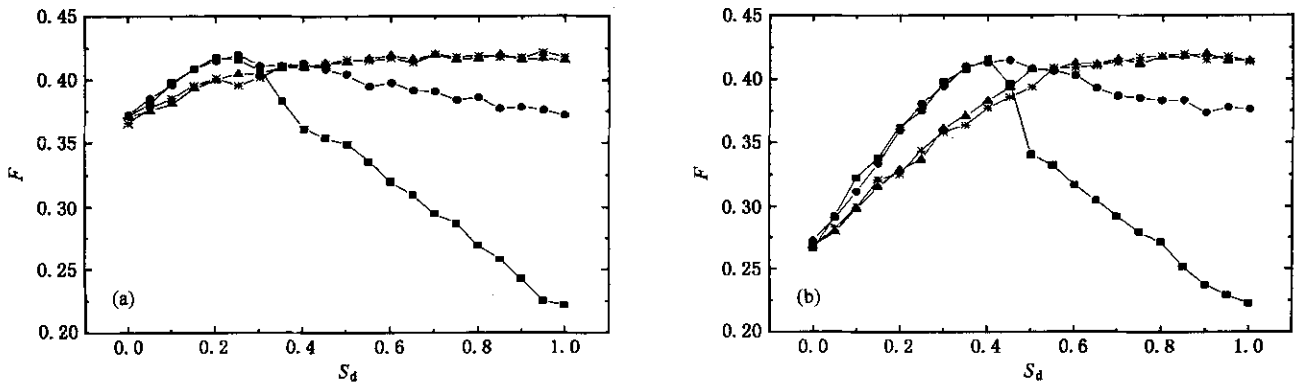


图 4  $q = 0.7$  和  $q = 0.9$  时, 系统流量  $F$  与动态车比例  $S_d$  的关系 (a)  $q = 0.7$  (b)  $q = 0.9$ . —■— 为反馈通行时间信息时机械决策, —▲— 为反馈通行时间信息时智能决策, —●— 为反馈车流平均速度信息时机械决策, —\*— 为反馈车流平均速度信息时智能决策

## 4. 结 论

利用双通道决策模型, 研究了智能决策的重要性. 数值模拟的结果表明, 如果机械地利用反馈信息

反而使得道路上的车辆出现了不希望看到的不稳定现象, 即道路的拥挤程度随时间而振荡, 致使系统的利用效率下降, 而合理地利用反馈信息使得系统效率得到明显的提高. 研究结果有助于对智能决策的重要性有更好的了解.

- |  |  |
|--|--|
| <p>[ 1 ] Schweitzer F 1997 <i>Self-Organization of Complex Structure</i> ( Amsterdam : Gordon and Breach Science Publishers )</p> <p>[ 2 ] Chowdhury D , Santen L , Schadschneider A 2000 <i>Phys. Rep.</i> <b>329</b> 199</p> <p>[ 3 ] Helbing D 2001 <i>Rev. Mod. Phys.</i> <b>73</b> 1067</p> <p>[ 4 ] Kerner B S , Rehborn H 1996 <i>Phys. Rev. E</i> <b>53</b> 1297</p> <p>[ 5 ] Kerner B S , Konhauser P 1997 <i>Phys. Rev. Lett.</i> <b>49</b> 4030</p> <p>[ 6 ] Kerner B S , Rehborn H 1996 <i>Phys. Rev. E</i> <b>53</b> 4275</p> <p>[ 7 ] Wang M Q 1995 <i>Adv. Mech.</i> <b>25</b> 343 ( in Chinese ) [ 王明琪 1995 力学进展 <b>25</b> 343 ]</p> | <p>[ 8 ] Wolfram S 1986 <i>Theory and Application of Cellular Automata</i> ( Singapore : World Scientific )</p> <p>[ 9 ] Gartner N H , Wilson N H M 1987 <i>Transportation and Traffic Theory</i> ( New York : Elsevier )</p> <p>[ 10 ] Kuang H , Kong L J , Liu M R 2004 <i>Acta Phys. Sin.</i> <b>53</b> 4138 ( in Chinese ) [ 邝 华、孔令江、刘慕仁 2004 物理学报 <b>53</b> 4138 ]</p> <p>[ 11 ] Chen Y H , Xue Y 2004 <i>Acta Phys. Sin.</i> <b>53</b> 4145 ( in Chinese ) [ 陈燕红、薛 郁 2004 物理学报 <b>53</b> 4145 ]</p> <p>[ 12 ] Nagel K , Schreckenberg M 1992 <i>J. Phys. I France</i> <b>2</b> 2221</p> <p>[ 13 ] Wahle J , Bazzan A L C , Klugl F <i>et al</i> 2000 <i>Physica A</i> <b>287</b> 669</p> |
|--|--|

# Intelligent decision-making in a two-route traffic flow model<sup>\*</sup>

Fu Chuan-Ji Wang Bing-Hong Yin Chuan-Yang Gao Kun

( *Nonlinear Science Center , Department of Modern Physics , University of Science and  
Technology of China , Hefei 230026 ,China* )

( Received 19 June 2005 ; revised manuscript received 13 April 2006 )

## Abstract

Intelligent decision-making based on the information feedback in a two-route traffic flow model is studied. Compared to the mechanical decision-making which induces an oscillation and low efficiency of system, intelligent decision-making will improve the efficiency. Our results suggest that one should not only devote to obtaining optimal information feedback, but also make an intelligent decision based on information feedback at hand.

**Keywords** : cellular automaton , information feedback , mechanical decision-making , intelligent decision-making

**PACC** : 0550 , 0520 , 0570J

---

<sup>\*</sup> Project supported by the National Natural Science Foundation of China ( Grant Nos. 70271070 , 10472116 , 70471003 ).