

考虑驾驶心理的城市双车道交通流 元胞自动机模型*

华雪东[†] 王炜 王昊

(东南大学交通学院, 交通规划与管理江苏省重点实验室, 南京 210096)

(2010年10月28日收到; 2010年12月16日收到修改稿)

采用双车道元胞自动机模型, 分析了考虑驾驶心理的城市道路交通流特性. 针对驾驶员在城市道路行驶时在换道与减速制动方面的不同心理, 分别引入了反映驾驶心理的选择换道概率 P_s 与安全参数 λ . 通过计算机模拟, 给出了不同选择换道概率与安全参数条件下的车辆速度、密度与流量间的关系, 并分析了不同驾驶心理对于交通系统的影响. 研究发现: 选择换道概率对交通流的速度影响并不明显, 但选择换道概率的增大会导致速度的方差增大而降低行车安全; 而安全参数的增大可以获得更快的平均车速和更大的交通流量.

关键词: 元胞自动机, 驾驶心理, 选择换道概率, 计算机模拟

PACS: 45.70.Vn, 89.40.-a

1. 引言

从20世纪初期开始, 随着欧美等西方国家的机动化与城市化水平的提高, 交通问题越来越多地困扰着城市的发展. 事实上, 单纯依靠新建或改扩建城市道路、完善配套交通设施并不能很好地缓解交通拥堵等交通问题. 近年来, 对于交通流的分析, 吸引了包括物理、数学等众多学科科技工作者的广泛关注. 如能正确地分析、理解、模拟、预测与控制城市交通网络中交通流, 将有助于交通管理者更好地组织城市交通, 提高城市交通出行效率. 现阶段用于描述交通流的模型主要包括宏观的连续流模型、介观的气体动力学模型以及微观的跟驰模型和元胞自动机模型^[1]. 由于交通流是一个离散系统, 宏观的模型往往忽略了单个车辆的特性, 得到的信息并不完全. 元胞自动机模型由于其高度的规则可变性、强大的复杂计算功能以及固有的并行计算能力等特征, 使得它在模拟复杂交通流时具有很强的能力; 并且在运用元胞自动机模型分析交通流时, 并不需要经过“离散—连续—离散”的变换. 因此采用

元胞自动机模型分析交通流问题有其独特的优越性.

元胞自动机模型的概念最早由 Von Neumann 于20世纪50年代提出, 但由于当时计算机硬件以及编程技术的限制, 该模型最初并没有引起学界的关注. 1986年, Cremer 和 Ludwig^[2]首次将元胞自动机模型运用到车辆交通的研究中. 最原始的元胞自动机交通流模型则是 Wolfram^[3]所命名的184号元胞自动机. 作为对184号模型的推广与规则的修正, 1992年 Nagel 和 Schreckenberg^[4]提出了一维元胞自动机 NaSch 模型; 同年, Biham, Middleton 和 Levine^[5]提出了二维元胞自动机 BML 模型, 确定了运用元胞自动机模型研究交通流的基础. 此后, 很多学者基于不同的规则对 NaSch 模型及 BML 模型进行了修正, 取得了许多研究成果^[6-20].

城市道路一般由多条车道组成, 外侧车道由于非机动车与行人等的干扰, 通行能力小于内侧车道, 而行驶延误则大于内侧车道. 因此驾驶员在操作车辆行驶时, 往往存在避免在外侧车道行驶的心理, 以期降低行驶延误, 规避路侧非机动车与行人对机动车行驶的干扰. 同时, 在机动车行驶过程中,

* 国家自然科学基金重点项目(批准号:50738001)、国家自然科学基金(批准号:51008074)和江苏省自然科学基金(批准号:BK2008033)资助的课题.

[†] E-mail: qdurkg@gmail.com

由于前车速度的降低,后续跟驰车辆需采取必要的制动操作,但由于性格的差异,不同驾驶员的驾驶心理也体现出安全或是冒险的不同特性.因此在制动时,车辆的减速也就各不相同.对于上述的驾驶心理所造成的不同驾驶行为与驾驶特性,以往的元胞自动机模型并没有考虑,致使模拟结果与现实交通流运行结果差异较大.此外,与高速公路相比,城市道路交通流的特点是道路占用率高,车辆速度分布相对较低,以往的模型往往采用相同的元胞长度和车速,很少对此加以修正.

本文针对上述 NaSch 模型的不足,提出了一种考虑驾驶心理的城市双车道交通流元胞自动机模型.该模型考虑了车辆在变换车道和减速过程中,由于驾驶员的不同驾驶心理造成的不同车辆行驶特性.为了更接近实际情况,对元胞长度和车辆速度进行细分与设定,使得小汽车占用两个元胞.通过计算机程序对模型的数值模拟,得到考虑驾驶心理条件下的车速、流量和密度数据及其相互关系,并分析了不同驾驶心理对交通流的影响.

2. 模型的建立

将道路视为两条并列的、长度为 L 的一维离散格点链,每一个格点即为一个元胞,其在 t 时刻的状态为空或者被车辆占据.定义内侧车道为车道 1,外侧车道为车道 2,并假定道路上行驶的均为小汽车.

考虑到城市道路与高速公路的区别,为精确地反映城市道路交通流的特性,本文对元胞的长度重新定义,取为经典元胞长度的一半,即 3.75 m,则每辆小汽车占据 2 个元胞.第 K 辆车在 t 时刻的状态由其速度 $V_K(t)$ 表示, $V_K(t) \in [0, V_{\max}]$, 其中 V_{\max} 为车辆的最大行驶速度, $V_{\max} = 5$. 车道 i 上第 K 辆车在 t 时刻与前车的距离 $D_K^i(t)$ 可表示为

$$D_K^i(t) = X_K^i(t) - X_{K-1}^i(t) - l_{K-1},$$

其中 i 为车道编号 ($i = 1, 2$), $X_K^i(t)$ 为车道 i 上第 K 辆车在 t 时刻的位置, $X_{K-1}^i(t)$ 为车道 i 上第 $K-1$ 辆车在 t 时刻的位置, l_{K-1} 为车道 i 上第 $K-1$ 辆车的长度. 车道 i 上第 K 辆车在 t 时刻与相邻车道前方紧邻车辆间的距离 $B_K^i(t)$ 可表示为

$$B_K^i(t) = X_K^i(t) - X_K^{-i}(t) - l_K^{-i},$$

其中 $X_K^{-i}(t)$ 为车道 i 上第 K 辆车在 t 时刻的相邻车道前方紧邻车辆的位置, l_K^{-i} 为相邻车道前方紧邻车辆的长度. 定义 $V_K^{-i}(t)$ 为车道 i 上第 K 辆车在 t 时

刻的速度, $V_K^{-i}(t)$ 为其相邻车道前方紧邻车辆的速度.

2.1. 考虑驾驶心理的修正

当车辆在城市道路上行驶时,由于前方车辆的速度降低,跟驰车辆需要采取相应的减速或者变换车道措施,以避免发生交通事故.在以往的研究中,作为对 NaSch 模型的扩充与修正,单车道模型往往被转化为多车道模型并相应地考虑车辆变换车道的要求.但在制定变换车道规则时,都是采用贪婪机制,即一旦发现存在换道机会时一定会换道行驶,并不会考虑驾驶员心理对换道行为的影响.王炜等^[21]指出,车道的通行能力会随着车道的位置而发生变化,对于双车道道路而言,其外侧车道的通行能力大约为内侧车道的 0.8.事实上,外侧车道由于会受到路侧非机动车与行人等的影响,其通行能力、速度与密度等交通流参数均会不同程度地比内侧车道偏小.一般而言,对于行驶在外侧车道的车辆,一旦其满足换道规则,驾驶员会立刻换道至内侧车道;而在内侧车道行驶的车辆,驾驶员会综合评价本车道的减速与外侧车道的延误,最终决定是否向外侧车道换道.在对南京市中心区停车场的 96 位小汽车车主关于换道的调查显示,65.6% 的驾驶员不愿意在外侧车道行驶.因此,在换道条件满足的前提下,驾驶员会对是否采取换道行为进行自我选择,本文称之为选择换道概率 P_s .当满足车道 2 换道至车道 1 的条件时,若 P_s 小于临界换道概率 $P_{c,2-1}$,则车辆将从车道 2 换道至车道 1;而当满足车道 1 换道至车道 2 的条件时,若 P_s 小于临界换道概率 $P_{c,1-2}$,则车辆将从车道 1 换道至车道 2.

对于确定性减速规则,以往的模型中往往沿用 NaSch 模型关于确定性减速的规定,一旦与前车的距离 $D_K^i(t)$ 不能满足车速的要求,那么第 K 辆车就立刻减速至 $D_K^i(t)$,即如果 $V_K^i(t) > D_K^i(t)$,则原 NaSch 模型将强制设定 $V_K^i(t) = D_K^i(t)$.这就完成了确定性减速过程.然而在决定是否减速时,驾驶员不仅会考虑与前车的距离,而且会根据前车的速度综合决定是否减速.对于驾驶心理偏安全的驾驶员,不管其前车的速度快慢与否,只要两车距离小于车速就会进行确定性减速;而对于驾驶心理偏冒险的驾驶员,当其与前车的距离小于其车速时,驾驶员会判断前车的车速,若前车车速较大,则不采取减速措施.为了描述这种驾驶心理,本文引入了

安全参数 λ 来刻画驾驶员的冒险程度, $\lambda \in [0, 1]$. $\lambda V_{k-1}^i(t)$ 就表示驾驶员对前车的估计车速. 易知, λ 越大则驾驶员的驾驶心理越偏向于冒险.

2.2. 确定性减速规则

首先定义确定性减速规则. 如果车道 i 上第 K 辆车在 t 时刻的速度 $V_k^i(t)$ 大于 $D_k^i(t)$ 与估计车速 $\lambda V_{k-1}^i(t)$ 之和, 则强制进行确定性减速, 即当

$$V_k^i(t) > D_k^i(t) + \lambda V_{k-1}^i(t)$$

时, 则设定

$$V_k^i(t) = D_k^i(t) + \lambda V_{k-1}^i(t).$$

易知, 当 $\lambda = 0$ 时上述规则即为经典 NaSch 模型中的确定性减速规则. 此时驾驶员的驾驶心理是偏安全的, 其减速行为仅仅考虑其与前车的距离, 而忽视前车也具有的行驶速度. 当安全参数 $\lambda > 0$ 时, 驾驶员在决定是否减速时, 不仅仅会考虑车距的限制, 还会在一定程度上估计前车的速度; 随着安全参数 λ 的增大, 驾驶员的驾驶心理也越偏向于冒险, 对于前车的速度估计程度也越高. 当 $\lambda = 1$ 时, 驾驶员的驾驶心理十分冒险, 只有当其认为会与前车发生碰撞时才会采取减速措施, 否则继续行驶.

事实上, $\lambda = 0$ 的情况并不是最为安全的驾驶心理. 在 $\lambda = 0$ 时, 由于并不考虑前车的速度, 一旦跟驰车辆采取减速措施时, 其速度会从 $V_k^i(t)$ 直接减速至 $D_k^i(t)$. 这种突然性的速度降低意味着很大的减速度, 不仅违背了车辆本身的特性, 并且在现实中很容易引起后方车辆的追尾, 造成交通事故. 因此, 为保证确定性减速的安全性, 参数 λ 的取值应为大于零的较小值.

2.3. 换道规则

车辆的换道规则主要考虑安全性、可移动性、交通法规和旅行时间最短原则^[22], 同时考虑了驾驶员在不同车道行驶时的换道心理, 对现有的换道规则做出了改进. 当车辆行驶在车道 1 时, 第 K 辆车的速度 $V_k^1(t)$ 满足

$$D_k^1(t) + \lambda V_{k-1}^1(t) < V_k^1(t) \leq B_k^2(t) + \lambda V_k^{-1}(t),$$

并且第 K 辆车的选择换道概率 P_s 小于临界换道概率 $P_{c,1-2}$, 则第 K 辆车换道至车道 2; 当车辆行驶在车道 2 时, 第 K 辆车的速度 $V_k^2(t)$ 满足

$$D_k^2(t) + \lambda V_{k-1}^2(t) < V_k^2(t) \leq B_k^1(t) + \lambda V_k^{-2}(t),$$

并且第 K 辆车的选择换道概率 P_s 小于临界换道概率 $P_{c,2-1}$, 则第 K 辆车换道至车道 1. 根据交通流量与路

侧的干扰程度不同, 临界换道概率 $P_{c,1-2}$ 取不同值, 这也可以参见文献[21]中关于车道修正系数的取值. 临界换道概率 $P_{c,2-1}$ 的值, 取^[17] $P_{c,2-1} = 1$.

综上所述可知, 车辆进行换道时必须满足

$$D_k^i(t) + \lambda V_{k-1}^i(t) < V_k^i(t) \leq B_k^{3-i}(t) + \lambda V_k^{-i}(t), \quad (1a)$$

$$P_s < P_{c,i-(3-i)}. \quad (1b)$$

其换道规则为

$$X^{3-i}(t+1) = X_k^i(t), \quad (2a)$$

$$V^{3-i}(t) = V_k^i(t). \quad (2b)$$

2.4. 车辆状态演化

综合以上对于 NaSch 模型的改进, 下面给出考虑驾驶心理的城市双车道交通流元胞自动机模型在换道、加速、随机减速、确定性减速以及位置更新过程中的车辆状态演化.

2.4.1. 换道过程

对于行驶在车道 1 上的第 K 辆车, 若其状态满足下列条件:

$$D_k^1(t) + \lambda V_{k-1}^1(t) < V_k^1(t) \leq B_k^2(t) + \lambda V_k^{-1}(t), \quad (3a)$$

$$P_s < P_{c,1-2}, \quad (3b)$$

第 K 辆车将从车道 1 换道至车道 2. 此时其状态演化可表示为

$$X^2(t+1) = X_k^1(t), \quad (4a)$$

$$V^2(t+1) = V_k^1(t). \quad (4b)$$

对于行驶在车道 2 上的第 K 辆车, 若其状态满足下列条件:

$$D_k^2(t) + \lambda V_{k-1}^2(t) < V_k^2(t) \leq B_k^1(t) + \lambda V_k^{-2}(t), \quad (5)$$

第 K 辆车将从车道 2 换道至车道 1. 此时其状态演化可表示为

$$X^1(t+1) = X_k^2(t), \quad (6a)$$

$$V^1(t+1) = V_k^2(t). \quad (6b)$$

2.4.2. 加速过程

车辆在加速过程的状态演化可表示为

$$V_k^i(t+1) = \min(V_k^i(t) + 1, V_{\max}). \quad (7)$$

2.4.3. 随机减速过程

第 K 辆车在 $t+1$ 时刻会以一定的概率 P_d 随机减速. 其状态演化可表示为

$$V_k^i(t+1) = \max(V_k^i(t) - 1, 0). \quad (8)$$

2.4.4. 确定性减速过程

若第 K 辆车的速度满足

$$V_K^i(t) > D_K^i(t) + \lambda V_{K-1}^i(t), \quad (9)$$

则需要进行确定性减速. 此时其状态演化可表示为

$$V_K^i(t) = D_K^i(t) + \lambda V_{K-1}^i(t). \quad (10)$$

2.4.5. 位置更新过程

在上述所有步骤都完成后,按照下式更新第 K 辆车在 $t + 1$ 时刻的位置:

$$X_K^i(t + 1) = X_K^i(t) - V_K^i(t). \quad (11)$$

3. 数值模拟结果及讨论

在数值模拟时,采用周期型边界条件. 取定道路长度为 3.75 km,则道路被分为 1000 个格点,即 $L = 1000$. 假设道路上共有 N 辆汽车. 初始时, N 辆车的位置和速度都是随机分布的. 系统每次迭代 110000 步,统计时舍去前 10000 步,以排除暂态的影响,并通过模拟系统中的一个虚拟探头记录后 100000 步中每个时间步内车辆向行驶方向的元胞数,其平均值即为车辆的速度 v . 由于采取了周期型边界条件,任意时刻系统中的车辆总数都不会发生变化,则车流密度 $D = N/L$, 流量 $Q = Dv = Nv/L$. 当取临界换道概率 $P_{c,2-1} = 1$ 时,通过系统中车辆数 N 、临界换道概率 $P_{c,1-2}$ 、随机减速概率 P_d 以及安全参数 λ 的不同取值,模拟不同情况下交通流在城市双车道道路的运行.

图 1 所示为随机减速概率 $P_d = 0.4$, 临界换道概率 $P_{c,1-2} = 0.8$ 的条件下,不同安全参数 λ 所对应的车流密度 D 与流量 Q 的关系. 由图 1 可以看出,当车流密度 $D < 0.2$ 时,安全参数 λ 的取值对流量 Q 的影响非常微小. 在这一阶段流量 Q 随密度 D 的增长很快,曲线的斜率很大. 当车流密度 $D > 0.4$ 时,安全参数 λ 的取值对流量 Q 的影响依然很小,但是此时流量开始随着密度的增加而下降,曲线斜率比密度 $D < 0.2$ 时的曲线斜率小. 当车流密度 $0.2 \leq D \leq 0.4$ 时,流量 Q 表现出了很大的差异性. 此时,随着安全参数 λ 的增大,流量 Q 的最大值越大,流量密度曲线的斜率也越大. 值得注意的是,随着安全参数 λ 的增大,取到最大流量时所对应的最佳密度也相应地增大. 事实上,当道路的车流密度较小 ($D < 0.2$) 时,由于道路上的车流量较少,车辆间的相互作用也相对较弱,交通流可视为自由流,驾驶员很少需要做出确定性减速与换道的行为. 这种情况下,无论驾驶员的驾驶心理是偏安全的还是偏冒险,其表现出的驾驶行为在整体上差异不大,车

辆都能达到道路的最大限速,因此在图 1 上就显示出 5 条曲线的大致重合. 当道路上的车流密度较大 ($D > 0.4$) 时,此时道路上的车辆较多,彼此间相互影响使得车辆的平均速度降低. 对于偏冒险的驾驶心理而言,虽然驾驶员一直试图通过预判前车速度与寻求换道以避免减速并获取更大的速度,但是由于车辆的平均速度低且两车间距小的原因,很少有机会获得更高的速度,其表现出的驾驶行为与偏安全的驾驶员类似,因此图 1 中的曲线在这个区域也就大致重合. 对于车流密度处于两者之间 ($0.2 \leq D \leq 0.4$) 时,与偏安全的驾驶员相比,驾驶心理偏冒险的驾驶员可以通过换道和相对少的进行确定性减速来获得相对更高的车速,从而在相同密度下可以获得更大的流量. 同时在相同密度下的平均车速更大,使得这种情况下可以在更大的车流密度时达到流量 Q 的最大值.

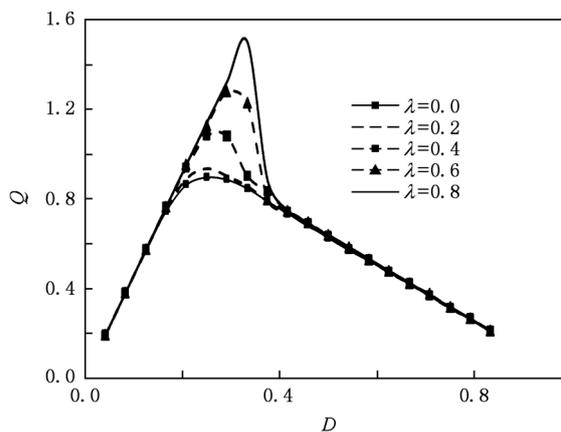


图 1 $P_d = 0.4, P_{c,1-2} = 0.8$ 时,流量 Q 与密度 D 的关系

图 2 所示为随机减速概率 $P_d = 0.4$, 临界换道概率 $P_{c,1-2} = 0.8$ 的条件下,不同参数 λ 所对应的车流密度 D 与速度 v 的关系. 从图 2 可以看出,速度 v 与密度 D 的关系表现出与图 2 类似的变化规律. 当道路的车流密度较小 ($D < 0.2$) 时,车辆的速度 v 变化不大,交通流表现为自由流. 当车流密度较大 ($D > 0.4$) 时,速度 v 随密度 D 减小的变化率开始很快,最后逐渐趋缓. 对于车流密度处于两者之间 ($0.2 \leq D \leq 0.4$) 时,速度的变化由于安全参数 λ 的不同呈现出很大的差异性. 随着安全参数 λ 的增大,交通流保持自由流的时间变长,由自由流转化为非自由流时的密度越大,且转化后的速度变化率越大. 特别地,当密度 D 很小时,自由流的速度 v 并不等于速度的最大值 V_{max} ,这是由随机减速过程造

成的.

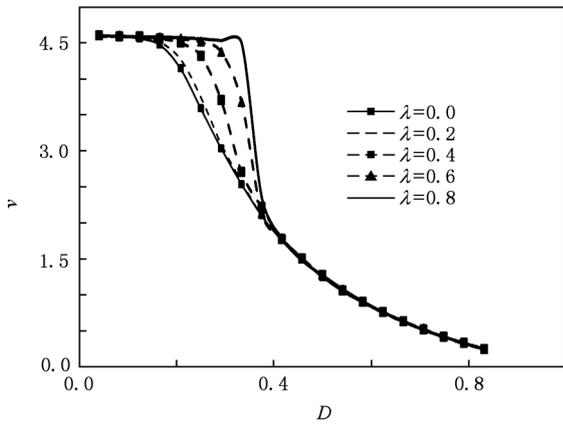


图2 $P_d = 0.4, P_{c,1-2} = 0.8$ 时,速度 v 与密度 D 的关系

由以上分析可知,当车流密度 D 较小或较大时,安全参数 λ 的变化对城市双车道道路系统中速度 v 和流量 Q 的变化影响不大.但是,这并不意味着此时安全参数 λ 对系统的意义不大.图3所示为随机减速概率 $P_d = 0.4$,临界换道概率 $P_{c,1-2} = 0.8$,车流密度 $D = 0.5$ 的条件下,速度 v 和速度的方差 S 与安全参数 λ 的关系.从图3可以看出,随着安全参数 λ 的增加,车辆的速度 v 在 1.255—1.28 的范围内变化,其变化幅度较小且有增大的趋势.这说明在车流密度较小或者较大时,安全参数 λ 的引入对系统的速度还是存在一定影响的.此时,速度的方差 S 变化则很明显.安全参数 λ 变大时,速度的方差 S 也随之变大.当安全参数 $\lambda > 0.5$ 时,速度的方差 S 增长变缓.考虑到安全参数 λ 增大时,由于驾驶员的驾

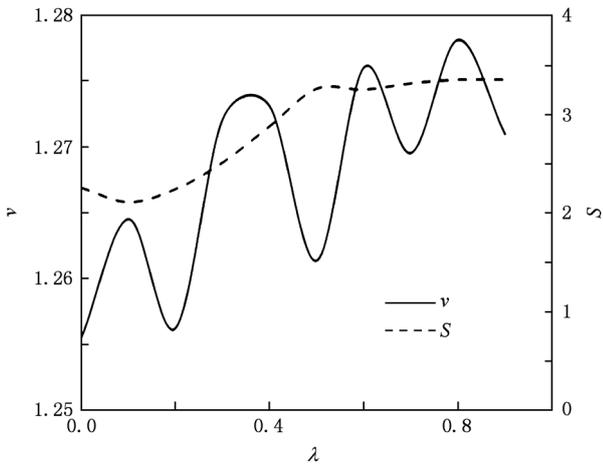


图3 $P_d = 0.4, P_{c,1-2} = 0.8, D = 0.5$ 时,速度 v 和方差 S 与安全参数 λ 的关系

驶心理越来越偏冒险,一部分的车辆可以获得相对较大的车速,因而另一部分的车速则相应偏小,在平均速度变化不大的前提下,系统的方差 S 变大了.从安全的角度考虑,总是希望车辆在道路上行驶的速度差异不大,即速度的方差越小越好,因此,当车流密度较大时,一个较小的安全参数 λ 值对交通系统的安全性是有好处的.

图4所示为随机减速概率 $P_d = 0.4$,安全参数 $\lambda = 0.2$ 时,不同车流密度 D 下的临界换道概率 $P_{c,1-2}$ 与速度 v 的关系.对比图4(a)和(b)可以发现,换道行为对于系统的速度 v 影响并不明显.当车流密度 D 较小时,交通流为自由流,由于车辆间的相互作用较小,车辆很少需要利用换道来维持或获得更高的车速.当车流密度 D 较大时,车辆的速度很低,驾驶员总会希望通过变换车道从而获得更快的速度.但是由于此时的车流流量很大,车辆很少能找到穿越间隙进行换道,并且由于前车的速度不高,因此换道车辆提速的可能性也不大.因而在车流密度较小和较大时,换道对于车速的影响都很小.特别是在

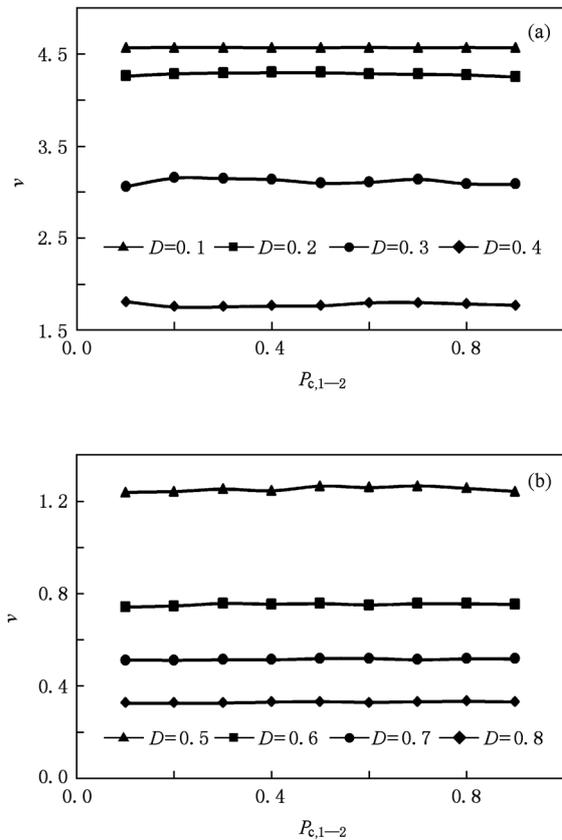


图4 $P_d = 0.4, \lambda = 0.2$ 时,临界换道概率 $P_{c,1-2}$ 与速度 v 的关系 (a) $D = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$; (b) $D = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$

车流密度大小适中 ($0.2 \leq D \leq 0.4$) 时, 车辆间的相互作用逐渐增多, 车辆可以选择变道维持或者获得更快的车速, 同时在这个密度区间车辆也有更多的机会完成变道过程. 因此, 预想此时的车速应该会随着临界换道概率的提升而有所增加, 但模拟得到的结果却和预想的不同, 无论临界换道概率如何变化, 车辆的速度并没有明显的变化.

图 5 所示为密度 $D = 0.85$, 安全参数 $\lambda = 0$, 随机减速概率 $P_d = 0.4$ 时, 速度 v 和方差 S 与临界换道概率 $P_{c,1-2}$ 的关系. 从图 5 可以看出, 速度 v 在 $0.246-0.254$ 之间微小变化, 且随选择换道概率的增大而呈增大的趋势. 此时, 虽然速度 v 的变化不明显, 但是速度的方差 S 变化显著, 整体上随着选择换道概率的增大而上升. 考虑到车辆换道以后会对系统产生一定的影响, 即换道车辆后的跟驰车辆由于换道车辆的驶离可以获得更快的车速, 而相邻车道的后续车辆则会因为换道车辆的驶入而采取必要的减速制动措施使得车速降低, 但是整体的平均车速变化不明显, 因此速度的方差变大了. 图 5 表明, 换道行为对于车辆个体而言, 是维持车速不至于减速或者获得更快速度的很好措施, 但是对于系统而言, 换道行为并不能够提升交通系统的平均行驶速度和流量, 相反会因为速度的方差变大而影响交通系统的安全性.

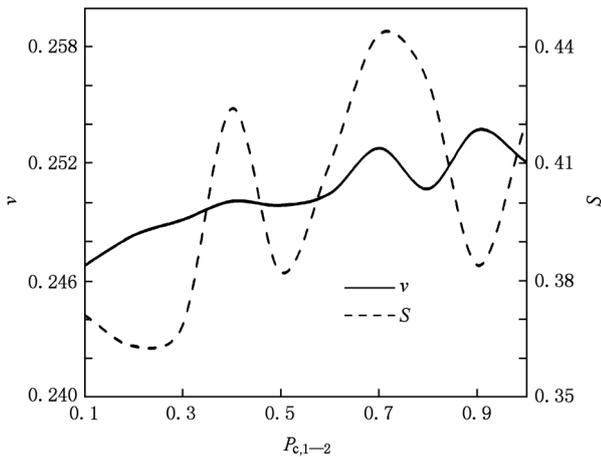


图 5 $D = 0.85, \lambda = 0, P_d = 0.4$ 时, 速度 v 和方差 S 与临界换道概率 $P_{c,1-2}$ 的关系

图 6 为随机减速概率 $P_d = 0.4$, 安全参数 $\lambda = 0$ 的条件下, 不同临界换道概率 $P_{c,1-2}$ 下的密度 D 与每辆车的平均换道次数的关系. 图 6 表明, 越大的临界换道概率意味着车辆平均换道次数越多. 同时, 在密度 $0.2 \leq D \leq 0.4$ 时, 车辆的平均换道次数增

长较快, 这也与此时车辆的换道需求增加且换道机会也相应增加的情况相符. 当车流密度 D 较小时, 平均换道次数随着密度的增加而增加; 而当车流密度 D 较大时, 平均换道次数将随着密度的增加而减小, 这与文献 [23] 的研究结果相似.

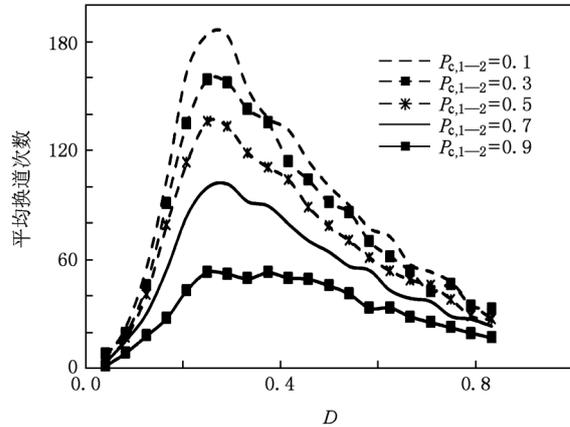


图 6 $P_d = 0.4, \lambda = 0$ 时, 车流密度 D 与平均换道次数的关系

4. 结 论

本文采用了双车道元胞自动机模型研究了不同的驾驶心理对城市道路交通的影响. 根据交通工程学以及南京市的实地调查, 明确了驾驶员在城市道路行驶时, 并不十分愿意行驶在干扰最大的外侧车道的现实. 基于此, 引入了反应驾驶员换道心理的选择换道概率. 同时, 对于元胞自动机模型中的确定性减速过程, 引入了反映驾驶心理的安全参数 λ . 不同的 λ 值, 代表驾驶员的谨慎或者冒险的驾驶心理. 通过模型的模拟, 得到多种情况下速度、密度与流量间的关系曲线. 模拟的结果表明, 选择换道概率可使换道车辆很好维持行驶速度, 但是对于交通系统的流量与平均车速影响不大. 安全参数 λ 对交通系统的影响则较为明显, 在车流密度 $0.2 \leq D \leq 0.4$ 时, 偏冒险的驾驶心理可以获得更快的车速, 提高交通系统的流量.

最后需要指出的是, 本研究忽略了城市道路中公交车停靠对交通流的影响. 事实上, 在城市道路的外侧车道, 有一定数量的公交车行驶与停靠, 公交车不同于社会车辆的行驶特性会对交通流造成一定的影响. 因此, 在后续的研究中, 有必要在现有模型中加入公交车的影响.

- [1] Yuan Y M 2009 *Ph. D. Dissertation* (Hefei: University of Science and Technology of China) (in Chinese) [袁耀明 2009 博士学位论文 (合肥:中国科学技术大学)]
- [2] Cremer M, Ludwig J 1986 *Math. Comp. Simul.* **28** 297
- [3] Wolfram S 1983 *Rev. Mod. Phys.* **55** 601
- [4] Nagel K, Schreckenberg M 1992 *J. Phys.* **12** 2221
- [5] Biham O, Middleton A, Levine D 1992 *Phys. Rev. A* **46** 6124
- [6] Zhuang Q, Jia B, Li X G 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3271
- [7] Song Y K, Zhao X M 2009 *Chin. Phys. B* **18** 5242
- [8] Li K P, Gao Z Y, Mao B H 2007 *Chin. Phys. B* **16** 359
- [9] Chen R X, Bai K Z, Liu M R 2006 *Chin. Phys. B* **15** 1471
- [10] Sheng P, Zhao S L, Wang J F, Zuo H 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 3831 (in Chinese) [盛鹏、赵树龙、王俊峰、左航 2010 物理学报 **59** 3831]
- [11] Zheng L, Ma S F, Jia N 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 4490 (in Chinese) [郑亮、马寿峰、贾宁 2010 物理学报 **59** 4490]
- [12] Peng L J, Kang R 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 830 (in Chinese) [彭莉娟、康瑞 2009 物理学报 **58** 830]
- [13] Mei C Q, Huang H J, Tang T Q 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3014 (in Chinese) [梅超群、黄海军、唐铁桥 2009 物理学报 **58** 3014]
- [14] Tian H H, Xue Y, Kang S J, Liang Y J 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4506 (in Chinese) [田欢欢、薛郁、康三军、梁玉娟 2009 物理学报 **58** 4506]
- [15] Kang R, Peng L J, Yang K 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4514 (in Chinese) [康瑞、彭莉娟、杨凯 2009 物理学报 **58** 4514]
- [16] Jia B, Li X G, Jiang R, Gao Z Y 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 6845 (in Chinese) [贾斌、李新刚、姜锐、高自友 2009 物理学报 **58** 6845]
- [17] Li Q D, Dong L Y, Dai S Q 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 7584 (in Chinese) [李庆定、董力耘、戴世强 2009 物理学报 **58** 7584]
- [18] Ding J X, Huang H J, Tang T Q 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 7591 (in Chinese) [丁建勋、黄海军、唐铁桥 2009 物理学报 **58** 7591]
- [19] Li X G, Gao Z Y, Zhao X M, Jia B 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 4777 (in Chinese) [李新刚、高自友、赵小梅、贾斌 2008 物理学报 **57** 4777]
- [20] Xiao R J, Kong L J, Liu M R 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 740 (in Chinese) [肖瑞杰、孔令江、刘慕仁 2007 物理学报 **56** 740]
- [21] Wang W, Guo X C 2000 *Traffic Engineering* (Nanjing: Southeast University Press) p156 (in Chinese) [王炜、过秀成 2000 交通工程学 (南京:东南大学出版社) 第156页]
- [22] Nagel K, Wolf D, Wagner P 1996 *Phys. Rev. E* **58** 1425
- [23] Huang D W 2002 *Phys. Rev. E* **66** 026124

A two-lane cellular automaton traffic flow model with the influence of driving psychology^{*}

Hua Xue-Dong[†] Wang Wei Wang Hao

(Key Laboratory of Transportation Planning and Management of Jiangsu Province,
School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

(Received 28 October 2010; revised manuscript received 16 December 2010)

Abstract

A two-lane cellular automaton model is developed to analyze the urban traffic flow with considering the influence of driving psychology. In order to show the different psychological characters of drivers when changing lane and braking, lane-changing choice probability and safety parameter are introduced. By computer simulation, the relationships among speed, density and traffic volume are given to show the influence of driving psychology on the traffic flow. The simulation results indicate that the lane-changing choice probability has little effect on the average speed, but it makes the variance of speed larger. And the safety parameter can increase the average speed and the traffic volume.

Keywords: cellular automaton, driving psychology, lane-changing choice probability, computer simulation

PACS: 45.70.Vn, 89.40.-a

^{*} Project supported by the Key Program of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 50738001), the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51008074) and the Natural Science Foundation of Jiangsu Province, China (Grant No. BK2008033).

[†] E-mail: qdurk@gmail.com