

# 基于元胞自动机的智能重卡专用道管控策略

王一帆<sup>1</sup>, 干宏程<sup>1</sup>, 王可<sup>1</sup>, 程智鹏<sup>1</sup>, 涂辉招<sup>2</sup>

(1. 上海理工大学超网络研究中心, 上海 200093; 2. 同济大学交通学院, 上海 201804)

**摘要:** 探索了车联网环境下设置自动驾驶重型卡车(简称智能重卡)专用道的可行性和有效性。以上海市两港大道快速路为研究场景, 通过分析实际交通状况, 设计正常路段混合交通流下的智能重卡专用道运行规则, 构建三车道元胞自动机模型, 利用 Matlab 开发仿真程序, 从交通流密度、流量、平均速度等方面对不同网联自动驾驶汽车(CAVs)渗透率条件下的仿真结果进行分析。结果表明, 在智能重卡比例 0.2、CAVs 渗透率 0.4~0.7 的情形下, 设置智能重卡专用道对提升道路通行能力效果显著, 且能提高整体交通流的平均速度; 尤其当 CAVs 渗透率达 0.6 时, 效果最佳, 道路通行能力提高约 23%。

**关键词:** 城市交通; 智能重卡; 专用道; 混合交通流; 元胞自动机

中图分类号: U 491 文献标志码: A

## Dedicated lane management and control strategy of intelligent heavy trucks based on cellular automata

WANG Yifan<sup>1</sup>, GAN Hongcheng<sup>1</sup>, WANG Ke<sup>1</sup>, CHENG Zhipeng<sup>1</sup>, TU Huizhao<sup>2</sup>

(1. Center for Supernetworks Research, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;  
2. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** The feasibility and effectiveness of setting up a dedicated lane for autonomous heavy trucks (intelligent heavy trucks) in a networked vehicle environment were explored. Taking the expressway of Lianggang Avenue in Shanghai as the research scene, by analyzing the actual traffic conditions, the operation rules of the intelligent heavy truck lane under mixed traffic flow in the normal road section were designed, a three-lane cellular automata model was constructed, and the simulation program was developed by Matlab. The simulation results under different connected autonomous vehicles (CAVs) penetration conditions were analyzed from the aspects of traffic flow density, flow rate, and average

收稿日期: 2023-10-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71871143); 上海市科技创新行动计划(22dz1203400, 22dz1203405)

第一作者: 王一帆(1996-), 男, 硕士研究生. 研究方向: 交通大数据、自动驾驶. E-mail: wyifan\_11@163.com

通信作者: 干宏程(1978-), 男, 教授. 研究方向: 交通工程、系统工程. E-mail: hongchenggan@126.com

引文格式: 王一帆, 干宏程, 王可, 等. 基于元胞自动机的智能重卡专用道管控策略[J]. 上海理工大学学报, 2025, 47(1): 100-107.

Citation: WANG Yifan, GAN Hongcheng, WANG Ke, et al. Dedicated lane management and control strategy of intelligent heavy trucks based on cellular automata[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2025, 47(1): 100-107.

speed. The results show that when the ratio of intelligent heavy trucks is 0.2 and CAV permeability is 0.4-0.7, the effect of setting intelligent heavy truck lanes is significant, and the average speed of the overall traffic flow can be improved. Especially when the CAVs penetration rate reaches 0.6, the best effect is achieved, and the installation of intelligent heavy truck lanes can increase the road capacity by about 23%.

**Keywords:** *urban traffic; intelligent heavy truck; dedicated lane; mixed traffic flow; cellular automata*

网联自动驾驶汽车 (connected autonomous vehicles, CAVs) 作为汽车工业与新兴技术相结合的产物,近年来在全球范围内迅速发展。与人工驾驶车辆 (human-driven vehicles, HDVs) 相比,网联自动驾驶汽车可以更准确地感知环境并实现协调控制<sup>[1]</sup>。2021年底,国家颁布《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》<sup>[2]</sup>,提出鼓励自动驾驶在港口、物流园区等限定区域测试应用,加强智能网联汽车、车路协同等领域技术研发。2022年9月,上海市颁布《上海市加快智能网联汽车创新发展实施方案》<sup>[3]</sup>,提出全力推进自动驾驶技术在港口物流配送领域的应用,包括提升智能重卡智驾能力,加快基础设施智能改造,推动运营方式减人化转变,将自动驾驶从港口物流逐步延伸至干线物流和城市末端配送等场景,探索新型智慧物流商业化运营模式。

随着电子商务迅猛发展,在线购物需求与日俱增,货运卡车和重型卡车的需求量也呈现上升趋势。越来越多研发自动驾驶技术的公司瞄准卡车运输领域,以满足电商行业日益蓬勃的供应链物流需求。在公路货车司机日益短缺和年龄断层问题凸显<sup>[4-5]</sup>以及运输效率亟待改善等现实状况下,自动驾驶重型卡车(简称智能重卡)对于交通运输行业无疑具有很大的吸引力。

解决智能重卡车辆与小汽车的冲突是有效发挥智能重卡作用的关键。设置专用道是一种能够实现隔离效果,从而有效减少冲突,并提高车辆运行效率的方法。然而从查阅到的文献看,尚无研究对智能重卡和专用道相结合的通行策略有效性进行理论分析和评价。以往文献多从自动驾驶小汽车专用道、网联卡车列队控制、自动驾驶专用相位等角度进行研究。例如,吴伟等<sup>[6]</sup>提出自动驾驶专用相位的“双环-四组”相位结构,建立基于排队论的自动驾驶专用相位通行能力预测模型,论证专用相位的有效性;沈琳<sup>[7]</sup>从工程的风

险控制、伦理责任和功利主义等角度分析实施自动驾驶小汽车专用道项目的工程价值、伦理内涵和技术依据;Gungor等<sup>[8-9]</sup>研究了自动驾驶网联卡车列队行驶的集中控制策略,以便优化卡车的横向位置和间距,减少路面损坏。

本文结合上海市将要示范应用自动驾驶和智能网联等先进技术的两港大道这一快速货运通道的实际场景,搭建仿真路网,设计智能重卡专用道管控方案,并结合元胞自动机模型和计算机仿真方法,模拟和分析重卡车辆在混合交通流场景中的通行状况,对不同条件下智能重卡专用道管控方案的效果进行评估。本文的研究旨在提高城市交通智能化水平,推动物流运输数字化和智能化转型,为智慧货运通道建设提供理论依据和技术参考,助力“碳达峰、碳中和”国家目标下的智慧城市建设。

## 1 研究场景与车流运行规则

### 1.1 研究场景

两港大道快速路,位于上海市东南方向,自西向东分为奉贤段、临港段和浦东段,是浦东航空港和洋山深水港之间不可或缺的快速货运通道。本文选取浦东段标志之一的景观桥高架路段作为研究场景,该路段设计时速 80 km/h,单车道宽 3.75 m。

以两港大道景观桥双向六车道路段为研究对象建立模拟交通场景,只考虑 CAVs、HDVs、智能重卡 3 种车型,将专用道设置于道路外侧,如图 1 所示。根据中华人民共和国交通运输部颁布的《道路运输车辆技术管理规定》<sup>[10]</sup>,小汽车长度一般在 4~6 m,智能重卡长度一般在 17 m 左右;小汽车速度限制在 60~80 km/h,智能重卡速度限制为 50~80 km/h;道路长度截取 2 200 m,道路宽度为 3.75 m。考虑两港大道实际道路通行能力

与安全水平, 本文设置智能重卡比例为固定值 0.2。

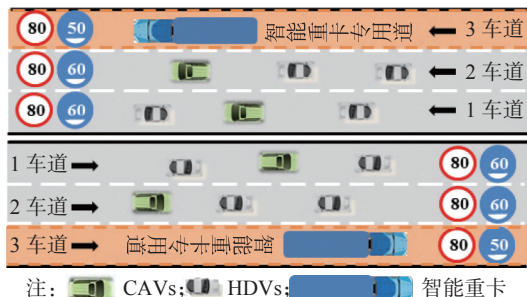


图1 智能重卡专用道示意图

Fig.1 Schematic diagram of dedicated lane for intelligent heavy trucks

## 1.2 车流运行规则

随着近年来自动驾驶、车联网等技术的不断发展, 智能重卡如何安全、高效地驶入路况繁杂的城市道路正成为当前研究的热点<sup>[11-15]</sup>。为了有效应对日益增长的货运需求和减少重卡通行引发的交通拥堵和安全隐患, 综合考虑重卡的运输特点和道路网络的实际情况, 本文提出的智能重卡专用道车流运行规则如下:

- 智能重卡只能在智能重卡专用道上行驶;
- 社会车道上的 HDVs 不允许换道至专用道上;
- 最初位于专用道上的 HDVs 在满足换道条件时将以 1 的概率换道至社会车道;
- 在智能重卡上游设置一段安全距离, 安全距离内 CAVs 不允许换道至专用道中。

## 2 三车道元胞自动机模型

元胞自动机 (cellular automata, CA) 作为一种基于简单规则的模拟方法, 已经在交通领域得到广泛应用。学术界基于元胞自动机已提出多种交通模型, 用于分析车辆行驶、交通流量和拥堵等问题。1992年, Nagel等<sup>[16]</sup>提出了最著名的 NaSch 模型, 并成为现代元胞自动机模型的原型; 1997年, Chowdhury等<sup>[17]</sup>在 NaSch 模型基础上选择双车道作为研究对象, 提出了一种具有换道规则对称的双车道模型 (STCA 模型); 2002年, Knosp等<sup>[18]</sup>考虑到驾驶员舒适行驶的需求构建了刹车灯模型 (BLM 模型), 引入了刹车灯效应; 2019年, Wang等<sup>[19]</sup>在 BLM 模型基础上提出了更符合实际的期望时间间隙刹车灯模型 (SBLTLM 模型)。由于智能重卡的运行涉及复杂的实时决策和动态环境交互, 而元胞自动机模型出于离散、

并行计算的特点恰能模拟这种实时性和复杂性, 因此, 本文将在 STCA 模型与 SBLTLM 模型的现有研究基础上, 结合车联网环境下 CAVs 和 HDVs 加减速过程的差异, 构建混合交通流场景下的三车道元胞自动机模型。

### 2.1 模型构建

本文在已有元胞自动机研究的基础上, 构建的三车道元胞自动机模型, 如图 2 所示。该模型以随机慢化模拟人为因素引起的车辆时走时停现象, 以刹车灯状态表现车辆间的交互行为, 以换道动机条件表明车辆无法在本车道按期望速度行驶的情形, 以安全条件保证车辆换道行驶过程中不发生碰撞。为了降低模型复杂度, 假设研究路段所有车辆在拥堵前均不会停滞不前, 并且不考虑车辆换道时加减速的中间过程。

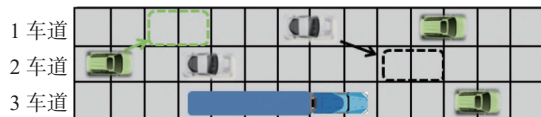


图2 三车道元胞自动机模型

Fig.2 Three-lane cellular automata model

此外, 为便于比较有无专用道两种情况下的交通流特性, 以及考虑实际道路可能产生的拥堵情形, 选择将模拟路段边界定为随机边界<sup>[20-21]</sup>, 即入口边界处以概率  $\alpha_{cav}$ 、 $\alpha_{hdv}$ 、 $1 - \alpha_{cav} - \alpha_{hdv}$  于相应车道分别产生 CAVs、HDVs 和智能重卡, 出口边界每条车道以概率  $1 - \beta$  封闭路段, 当路段未封闭时, 车辆若驶出出口边界意味着该车辆从路段中被消除。其中,  $\alpha_{cav}$ 、 $\alpha_{hdv}$  均是从 0.02 到 1、公差为 0.02 递增的等差数列,  $\beta$  是从 1 到 0.2、公差为 -0.016 递减的等差数列, 这样在仿真初期不会出现出口堵车现象。但随着交通密度的不断增加和出口封闭概率的逐渐加大, 车辆在出口会出现排队等待情况, 且等待时间会越来越长。

#### 2.1.1 设置智能重卡专用道的元胞自动机模型

车联网技术的发展使得车辆在智能网联环境下具有更强的信息交互能力, 更易感知周围车辆的速度信息, 从而前车与后车可以互相配合保持同速行驶。因此, 为更精准表示网联自动驾驶车辆与前车的距离, 在本文模型中引入有效车间距 (effective distance) 这一概念进行计算。当车辆满足换道动机条件时, CAVs、HDVs 将分别以  $P_{cav}$ 、 $P_{hdv}$  的换道概率发生换道行为。模型如下:

- 随机慢化概率。

$$P_n[V_n(t), b_{n+1}(t), t_{s,n}, t_{h,n}, g, V_{\text{cri}}, V_{n+1}(t)] = \begin{cases} P_b: & \text{if } b_{n+1} = 1, t_{h,n} < t_{s,n}, V_n(t) > V_{\text{cri}} \text{ and } g = 0 \\ P_0: & \text{if } V_n(t) = 0 \text{ and } g = 0 \\ P_e: & \text{if } V_n(t) > V_{n+1}(t) \text{ and } g = 0 \\ P_g: & \text{if } g = 1 \\ P_d: & \text{in all other case} \end{cases}$$

$$t_{h,n} = d_n/V_n$$

$$t_{s,n} = \min(d_{\text{safe}}/V_n, h)$$

式中:  $P_n$ 为随机慢化的概率;  $V_n(t)$ 为车辆  $n$  在  $t$  时刻的行驶速度, 元胞/时步;  $b_{n+1}(t)$ 为当前车道前方车辆在  $t$  时刻的刹车灯状态, 如果取值为  $1(0)$ , 则表示刹车灯为开(关);  $t_{h,n}$ 为车头时距,  $s$ ;  $d_n$ 为车辆  $n$  与其前车的车头间距, 元胞;  $t_{s,n}$ 为车辆  $n$  的安全车头距时间,  $s$ ;  $d_{\text{safe}}$ 为不会发生碰撞的安全距离, 元胞;  $h$ 为刹车灯的作用范围, 即前车对后车产生影响的最大时间间距,  $s$ ;  $g$ 取  $1$  代表该车辆是网联自动驾驶车辆, 取  $0$  代表该车辆是人工驾驶车辆;  $V_{\text{cri}}$ 为临界速度, 元胞/时步, 包括智能重卡临界速度  $V_{\text{truck,cri}}$ 、CAVs 临界速度  $V_{\text{cav,cri}}$ 、HDVs 临界速度  $V_{\text{hdv,cri}}$ ;  $V_{n+1}(t)$ 为当前车道前方车辆在  $t$  时刻的行驶速度, 元胞/时步;  $P_b$ 、 $P_0$ 、 $P_e$ 、 $P_g$ 、 $P_d$ 为不同情况下的概率常数。

### b. 加速过程。

#### ①人工驾驶车辆

$$V_n(t+1) = \min[V_n(t) + 1, V_{n,\text{max}}], d_n > V_n(t) + 1, V_n(t) < V_{n,\text{max}}$$

式中,  $V_{n,\text{max}}$ 为道路上运行的车辆  $n$  能达到的最大行驶速度, 元胞/时步。

#### ②网联自动驾驶车辆/智能重卡

$$V_n(t+1) = \min[V_n(t) + 1, V_{n,\text{max}}], d_{n,\text{eff}} >$$

$$V_n(t) + 1, V_n(t) < V_{n,\text{max}}$$

$$d_{n,\text{eff}} = d_n + \max(V_{\text{anti}} - b_{\text{anti}}, 0) + V_{n+1} - V_n$$

$$V_{\text{anti}} = \min(d_{n+1}, V_{n+1})$$

$$b_{\text{anti}} = \lceil b_{\text{rand}} + b_m(V_n/V_{n,\text{max}}) \rceil$$

式中:  $d_{n,\text{eff}}$ 为有效车间距, 元胞;  $V_{\text{anti}}$ 为前车在下一时刻的预期速度, 元胞/时步;  $b_{\text{anti}}$ 为前车的期望减速度, 元胞/平方时步;  $b_{\text{rand}}$ 为随机慢化减速度, 元胞/平方时步;  $b_m$ 为常数, 元胞/平方时步。

### c. 减速过程。

#### ①人工驾驶车辆

$$V_n(t+1) = \min[V_n(t), \lceil d_n(t)/T \rceil]$$

$$d_n(t) = X_{n+1}(t) - X_n(t) - L$$

式中:  $T$ 为预期车头时距,  $s$ ;  $d_n(t)$ 为  $t$  时刻车辆  $n$  与其前车的车头间距, 元胞;  $X_n(t)$ 为车辆  $n$  在  $t$  时刻的位置;  $X_{n+1}(t)$ 为当前车道前方车辆在  $t$  时刻的位置;  $L$ 为车辆长度, 元胞。

#### ②网联自动驾驶车辆/智能重卡

$$V_n(t+1) = \min[V_n(t), \lceil d_{n,\text{eff}}(t)/T \rceil]$$

#### d. 以概率 $P_n$ 随机慢化。

$$\text{if rand}() < P_n, \text{ then } V_n(t+1) = \max[V_n(t) - b_{\text{rand}}, 0]$$

式中,  $\text{rand}()$ 表示取  $0 \sim 1$  的随机数。

#### e. 刹车灯状态。

$$\text{if } V_n(t+1) < V_n(t), \text{ then } b_n(t+1) = 1$$

$$\text{if } V_n(t+1) > V_n(t), \text{ then } b_n(t+1) = 0$$

$$\text{if } V_n(t+1) = V_n(t), \text{ then } b_n(t+1) = b_n(t)$$

#### f. 位置更新。

$$X_n(t+1) = X_n(t) + V_n(t+1)$$

#### g. 换道动机条件。

##### ①人工驾驶车辆

$$b_n(t) = 0$$

$$t_{h,n} < t_{s,n}$$

$$V_n(t) > V_{n+1}(t)$$

##### ②网联自动驾驶车辆

$$b_n(t) = 0$$

$$t_{h,n} < t_{s,n}$$

$$V_n(t) > \max(V_{n+1}(t), d_n)$$

#### h. 安全条件。

##### ①人工驾驶车辆

$$d_{n,i\pm 1} > \lceil V_n(t)T \rceil$$

$$d_{n-1,i\pm 1} > V_{n-1,i\pm 1,\text{max}}$$

式中:  $d_{n,i\pm 1}$ 为车辆  $n$  与目标车道上前方车辆之间的车头间距, 元胞,  $i$ 为车辆当前所在的车道数;  $d_{n-1,i\pm 1}$ 为车辆  $n$  与目标车道上后方车辆之前的车头间距, 元胞;  $V_{n-1,i\pm 1,\text{max}}$ 为目标车道上后方车辆的最大行驶速度, 元胞/时步。

##### ②网联自动驾驶车辆

$$d_{n,i\pm 1}^{\text{eff}} > \lceil V_n(t)T \rceil$$

$$d_{n-1,i\pm 1}^{\text{eff}} > d_{\text{safe}}$$

$$d_{\text{safe}} = \begin{cases} V_{n-1,i\pm 1}(t) : & \text{if } V_{n,g} = 1 \text{ and } V_{n-1,g} = 1 \\ V_{n-1,i\pm 1,\text{max}} : & \text{else} \end{cases}$$

式中:  $d_{n,i\pm 1}^{\text{eff}}$ 为车辆  $n$  与目标车道上前方车辆之间的有效距离, 元胞;  $i$ 为车辆当前所在的车道数;



$d_{n-1,i\pm 1}^{eff}$  为车辆  $n$  与目标车道上后方车辆之前的有效距离, 元胞;  $V_{n-1,i\pm 1}(t)$  为目标车道上后方车辆  $t$  时刻的行驶速度, 元胞/时步;  $V_{n,g}$  为前方网联自动驾驶汽车或智能重卡的行驶速度, 元胞/时步;  $V_{n-1,g}$  为后方网联自动驾驶汽车或智能重卡的行驶速度, 元胞/时步。

### 2.1.2 不设置智能重卡专用道的元胞自动机模型

当不设置智能重卡专用道时, 3 条车道均为常规机动车道, 智能重卡可在 2、3 车道行驶。在此情景下, 主要研究其换道规则与设置专用道时的差异。在 3 条常规机动车道中, CAVs 和 HDVs 可以在限速规则下于任意相邻车道发生换道行为。而智能重卡只可以在 2、3 车道间进行换道, 换道规则为只要车辆  $n$  与目标车道上前方车辆的距离大于与当前车道上前方车辆的距离, 即以一定换道概率  $P_{truck}$  向目标车道进行换道。换道动机条件、安全条件公式如下:

#### a. 换道动机条件。

$$b_n(t) = 0$$

$$t_{h,n} < t_{s,n}$$

$$V_n(t) > \max(V_{n+1}(t), d_n)$$

#### b. 安全条件。

$$d_{n,i\pm 1}^{eff} > \lceil V_n(t)T \rceil$$

$$d_{n-1,i\pm 1}^{eff} > V_{n-1,i\pm 1}$$

## 2.2 模型参数

本文设置 3 条车道, 每条车道上每个元胞的实际长度为 2.75 m, 路段长度为 800 个元胞, 每次模拟时间为 1 000 s, 时间步长为 1 s, 从 700 个时间步长中对所需变量进行分析。根据本文中小汽车与智能重卡的不同特性, 设置 CAVs 和 HDVs 均占用 2 个元胞长度, 其最高速度为 8 元胞/时步; 智能重卡占用 6 个元胞长度, 最高速度为 5 元胞/时步, 期望速度为 4 元胞/时步。此外, 为了消除随机误差, 取 20 个样本的平均值进行分析研究。其他参数数据见表 1。

表 1 元胞自动机相关参数取值

Tab.1 Related parameter values of cellular automata

参数	$h/s$	$b_m/(元胞 \cdot 平方时步^{-1})$	$b_{rand}/(元胞 \cdot 平方时步^{-1})$	$P_{truck}$	$P_{cav}$	$P_{hdv}$	$P_g$
取值	8	3	0.5	0.3	0.8	0.7	0.1
参数	$V_{hdv,cri}/(元胞 \cdot 时步^{-1})$	$V_{cav,cri}/(元胞 \cdot 时步^{-1})$	$V_{truck,cri}/(元胞 \cdot 时步^{-1})$	$P_b$	$P_0$	$P_e$	$P_d$
取值	5	5	3	0.94	0.55	0.75	0.2

## 3 仿真结果分析

为验证本文所提三车道元胞自动机模型是否符合交通流理论, 采用基本图法进行分析。如图 3 所示, 当 CAVs 渗透率 (penetration rate, PR), 即 CAVs 数量与小汽车总数量之比一定时, 流量-密度曲线呈现先增大后减小的趋势。当密度为 0~12 辆/km 时, 流量与密度成近乎正比例关系, 此时可判断当前车流状态为自由流; 当密度超过 12 辆/km 时, 车辆间的干扰增强, 流量随密度逐渐减小, 此阶段车流行驶速度降低; 随着密度进一步增加至 46 辆/km 左右时, 干扰作用更为显著, 车流速度进一步下降, 并逐渐发生拥堵状态。通过对交通流流量-密度图的分析, 本文所构建的三车道元胞自动机模型符合设置智能重卡专用道后路段交通流的行驶特性, 符合交通流理论<sup>[22]</sup>, 对路段通行能力、车流平均速度等方面的

研究具有可行性。

在智能重卡比例为 0.2 的前提下, 探索不同 PR 条件对设置智能重卡专用道的影响。图 4(a)、(b) 显示当 PR 为 0.1、0.2 时, 由于 HDVs 无法换道至专用道且专用道上的智能重卡数量又过于稀少,

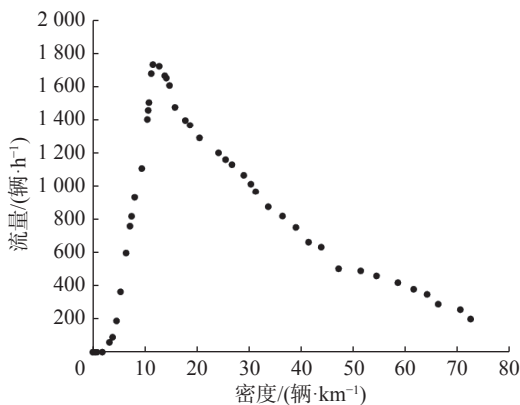


图 3 三车道元胞自动机流量-密度基本图

Fig.3 Basic flow-density diagram of three-lane cellular automata

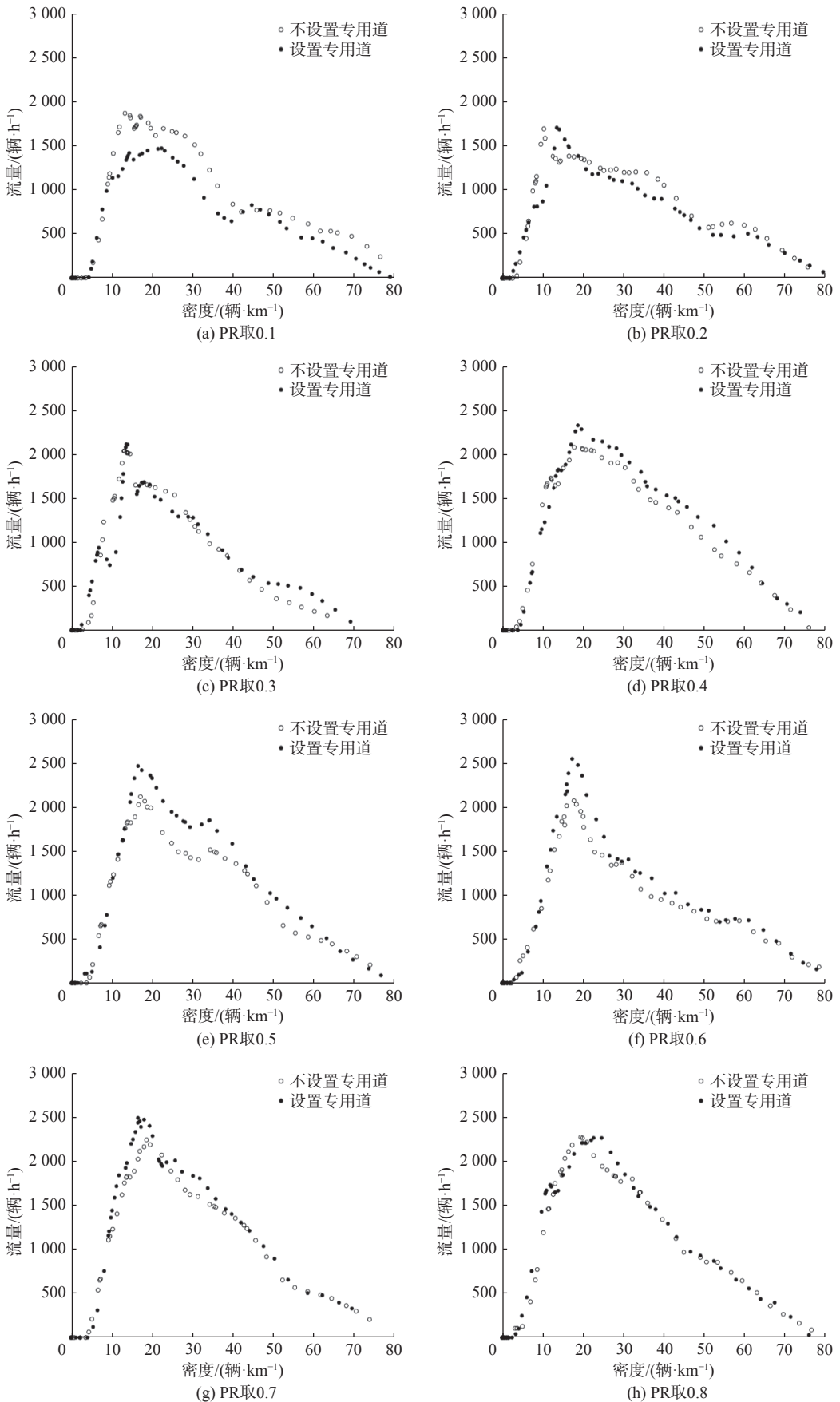


图 4 不同渗透率条件下流量-密度关系图

Fig.4 Flow-density relationship under different penetration rates

所以道路资源严重浪费,此时设置专用道会产生负面影响。图4(c)~(g)显示当PR为0.3~0.7时,设置专用道对整体车流会产生积极影响,交通流流量也比PR为0.1、0.2时的有所提高。尤其当PR为0.6时,设置专用道能将不设置专用道时的最大流量值从2071.55辆/h提高到2545.69辆/h,道路通行能力也相应提高约23%,此条件下应用专用道效果最好。由图4(h)可知,当PR继续增大,受智能重卡专用道容量限制,可借道的CAVs逐渐饱和,此时设置专用道与不设置专用道的效果差异逐渐变小。

因此,应当重视设置智能重卡专用道时的PR条件。当PR小于0.4时,不建议设置专用道;当PR为0.4~0.7时,设置智能重卡专用道效果最佳;当PR大于0.7时,设置专用道收效甚微,此时,应当根据实际情况适当修改已有的管控策略。

平均速度可以体现车辆运行效率,是考察车道设置效益的重要指标之一。图5所示是设置专用道前后,智能重卡、小汽车(包括CAVs与HDVs)以及交通流的平均速度对比。其中,图5(a)表明在设置专用道后,智能重卡运行效率大大提高,这是由于专用道的设置给予了智能重卡相当大的路权,因此提升了两港地区的货物运输效率;图5(b)说明在设置专用道后,CAVs和HDVs的平均速度略有下降,这是由于原本属于小汽车的路权被分走了一部分,其行驶空间有所减少,但差别并不明显;图5(c)是设置专用道前后道路中整体交通流平均速度随密度变化曲线,它表明设置专用道能提高整体交通流的平均速度。

## 4 结 语

本文设计了混合交通流下智能重卡专用道的通行策略,运用元胞自动机建模方法与仿真手段,从渗透率、流量、密度、平均速度等角度对仿真结果进行了评估。结果表明,当路网中PR为0.4~0.7时,设置专用道具有重大的积极意义,尤其当PR为0.6时效果最佳,道路通行能力相比不设置专用道提高了约23%。此外,设立智能重卡专用道可以提高道路整体交通流的平均速度,是一种有效的交通管理手段。

本研究在智能重卡专用道的管控策略方面进行了初步探索,为相关领域的研究和实践提供了

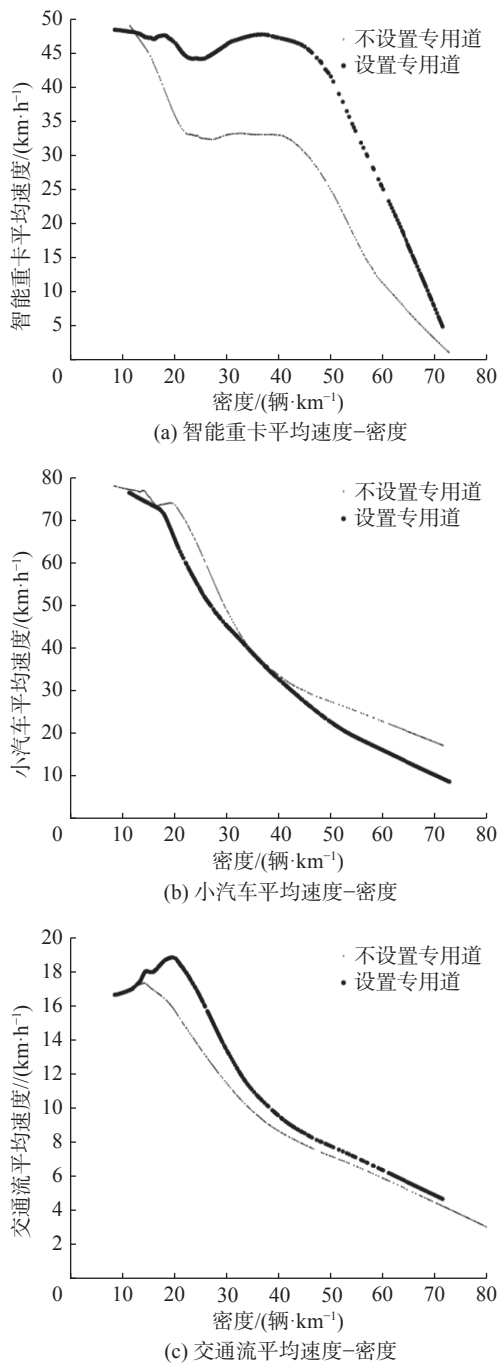


图5 设置专用道前后平均速度对比

Fig.5 Comparison of average speed before and after setting the dedicated lane

技术参考和理论依据。未来可以进一步改进模型,拓展匝道、交叉口等实际场景,继续探索更加精细的智能重卡专用道通行策略,让港口货运通道变得越来越智慧。相信通过不懈的努力与研究,智能重卡专用道的设置将在港口物流运输领域发挥重要作用,进而持续推动区域联通和城市经济的可持续发展,贯彻国家新时代交通强国战略的政策方针。

## 参考文献:

- [1] YAO Z H, HU R, JIANG Y S, et al. Stability and safety evaluation of mixed traffic flow with connected automated vehicles on expressways[J]. *Journal of Safety Research*, 2020, 75: 262–274.
- [2] 国务院. 国务院关于印发“十四五”现代综合交通运输体系发展规划的通知 [EB/OL]. [2022-01-18]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content\\_5669049.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm).
- [3] 上海市人民政府办公厅. 上海市人民政府办公厅关于印发《上海市加快智能网联汽车创新发展实施方案》的通知 [EB/OL]. [2022-09-05]. <https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20220905/a6882b588ee14f1683d7b6873e668732.html>.
- [4] 方啸, 朱珩, 李景才, 等. 公路货运自动驾驶重卡政策及应用进展研究 [J]. *智能网联汽车*, 2022, (2): 44–48.
- [5] IHS Markit. 自动驾驶卡车将改变物流行业的格局 [J]. *汽车与配件*, 2022, (8): 60–61.
- [6] 吴伟, 秦少敏, 马万经, 等. 考虑自动驾驶专用相位的交叉口信号控制方法 [J]. *中国公路学报*, 2023, 36(10): 183–196.
- [7] 沈琳. 高速公路设置自动驾驶专用车道的利弊分析 [J]. *专用汽车*, 2022, (12): 9–11.
- [8] GUNGOR O E, SHE R F, AL-QADI I L, et al. One for all: decentralized optimization of lateral position of autonomous trucks in a platoon to improve roadway infrastructure sustainability[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2020, 120: 102783.
- [9] GUNGOR O E, AL-QADI I L. All for one: centralized optimization of truck platoons to improve roadway infrastructure sustainability[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2020, 114: 84–98.
- [10] 交通运输部. 道路运输车辆技术管理规定 [EB/OL]. [2023-05-06]. [https://www.gov.cn/zhengce/2023-05/06/content\\_5754527.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2023-05/06/content_5754527.htm).
- [11] TSUGAWA S, KATO S, AOKI K. An automated truck platoon for energy saving[C]//Proceedings of 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. San Francisco: IEEE, 2011: 4109–4114.
- [12] 郑峰. “5G+L4”重卡智能驾驶商业落地先行者 [J]. *上海信息化*, 2020, (11): 22–24.
- [13] 韩光胤. 自动驾驶重卡高效服务港口集疏运 [N]. *中国交通报*, 2022-12-01(008).
- [14] NASRI M I, BEKTAŞ T, LAPORTE G. Route and speed optimization for autonomous trucks[J]. *Computers & Operations Research*, 2018, 100: 89–101.
- [15] AJAO Q, SADEEQ LG. Overview analysis of recent developments on self-driving electric vehicles[J/OL]. ArXiv, [2023-06-23]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.00016>.
- [16] NAGEL K, SCHRECKENBERG M. A cellular automaton model for freeway traffic[J]. *Journal de Physique I*, 1992, 2(12): 2221–2229.
- [17] CHOWDHURY D, WOLF D E, SCHRECKENBERG M. Particle hopping models for two-lane traffic with two kinds of vehicles: effects of lane-changing rules[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 1997, 235(3/4): 417–439.
- [18] KNOSPE W, SANTEN L, SCHADSCHNEIDER A, et al. A realistic two-lane traffic model for highway traffic[J]. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 2002, 35(15): 3369–3388.
- [19] WANG Z J, MA S F, JIANG R, et al. A cellular automaton model reproducing realistic propagation speed of downstream front of the moving synchronized pattern[J]. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 2019, 7(1): 295–310.
- [20] CHEYBANI S, KERTÉSZ J, SCHRECKENBERG M. Stochastic boundary conditions in the Nagel-Schreckenberg traffic model[M]//HELBING D, HERRMANN H J, SCHRECKENBERG M, et al. *Traffic and Granular Flow'99: Social, Traffic, and Granular Dynamics*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2000: 443–448.
- [21] BARLOVIC R, HUISINGA T, SCHADSCHNEIDER A, et al. Open boundaries in a cellular automaton model for traffic flow with metastable states[J]. *Physical Review E*, 2002, 66(4): 046113.
- [22] KERNER B S, REHBORN H. Experimental properties of complexity in traffic flow[J]. *Physical Review E*, 1996, 53(5): R4275–R4278.

(编辑: 董伟)