

万文文, 杨晓芳, 徐阳. 考虑前车影响的车速引导模型研究[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(4): 53-60. DOI:10.20169/j.issn.2095-2163.24081901

考虑前车影响的车速引导模型研究

万文文, 杨晓芳, 徐阳
(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 在现代交通系统中,随着道路流量的增加,前方车辆对车辆的驾驶行为的影响也越来越大,单车状态下的车速控制已不足以应对复杂的交通环境。本文提出了一种考虑前方车辆影响的车速引导模型,优化车辆在不同交通信号下的行驶行为,以提升交通效率并减少燃油消耗。研究主要集中在2种交通场景:一是在绿灯结束前建立加速引导模型,以动态调整车速,帮助车辆顺利通过路口;二是在红灯结束后建立减速引导模型,控制车辆在排队消散过程中的速度,避免频繁停车和启动。为验证模型有效性,本文使用SUMO仿真软件进行二次开发和实验。结果显示,与未采用车速引导模型相比,应用本文模型后,车辆总燃油消耗量减少了5.48%,排队长度减少了7.14%,停车次数减少了5.91%,延误时间减少了11.09%。这些结果表明,本文提出的车速引导模型在节约燃油和提升交通流畅性方面具有显著效果,并适用于不同流量的交通状况。

关键词: 智能交通; 车速引导; 排队消散; 仿真系统; 交通效率

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2025)04-0053-08

Research on a speed guidance model considering the influence of the leading vehicle

WAN Wenwen, YANG Xiaofang, XU Yang

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In contemporary transportation systems, the increasing volume of road traffic has led to vehicle driving behavior being significantly influenced by preceding vehicles, rendering single-vehicle speed control inadequate for managing complex traffic scenarios. This paper introduces a speed guidance model that incorporates the influence of preceding vehicles, aiming to optimize vehicle behavior under varying traffic signal conditions, thereby enhancing traffic efficiency and reducing fuel consumption. The research primarily addresses two traffic scenarios: firstly, an acceleration guidance model is developed for the period preceding the end of a green light, facilitating dynamic speed adjustment to enable vehicles to pass through intersections smoothly; secondly, a deceleration guidance model is formulated for the post-red light phase, managing vehicle speed during queue dispersion to minimize frequent stops and starts. The effectiveness of the proposed models is validated through secondary development and simulation experiments conducted using SUMO software. The results demonstrate that, compared to scenarios without speed guidance, the application of the proposed model achieves a 5.48% reduction in total vehicle fuel consumption, a 7.14% decrease in queue length, a 5.91% reduction in stop frequency, and a 11.09% decrease in delay time. These outcomes indicate that the proposed speed guidance model significantly enhances fuel efficiency and traffic flow, proving applicable across various traffic conditions.

Key words: intelligent transportation; speed guidance; queue dissipation; simulation system; traffic efficiency

0 引言

随着车辆数量的增加,交通系统的能源消耗显著上升^[1-2]。交通拥堵、频繁启停和低速行驶等问题导致了燃油消耗和排放增加。这既浪费能源,而且又污染环境^[3-4]。信号灯交叉口作为城市交通系

统的关键节点,车辆在此处的频繁启动和制动会对交通流量和能源消耗造成显著的影响^[5]。研究表明,交叉口附近的驾驶行为对整体交通流量、能耗和排放等至关重要^[6]。为应对这些挑战,研究者提出了优化策略,旨在减少燃油消耗、降低排放,并提高交通系统效率和安全性。

作者简介: 万文文(1998—),女,硕士研究生,主要研究方向:智能交通。

通信作者: 杨晓芳(1975—),女,博士,副教授,主要研究方向:智能交通,驾驶行为。Email:wan19963379658@163.com。

收稿日期: 2024-08-19

哈尔滨工业大学主办 ◆ 学术研究与应用

目前,国内外已对面向车路协同环境下速度控制策略的课题展开了研究。Yang等学者^[7]提出了基于车辆运行轨迹和信号配时的速度引导策略。李鹏凯等学者^[8]提出了多车协同车速引导策略。刘欢等学者^[9]研究了车队速度引导。Xu等学者^[10]引入了基于准移动区块速度引导(QMBSG)的模型。Wu等学者^[11]开发了单车和车队速度引导模型。Liu等学者^[12]建立了单车和多车的速度引导模型。这些车速引导模型和策略都表明可以有效地减少车均延误并降低平均停车速度。

目前,速度引导对缓解交通污染的作用已吸引了众多学者的关注。王东磊^[13]和石琴等学者^[14]分别研究了不同速度引导策略对尾气排放和燃油消耗的影响。孟竹等学者^[15]提出了连续交叉口的动态生态驾驶策略。Sun等学者^[16]提出了数据驱动的生态驾驶控制方法。Yang等学者^[17]开发了Eco-MS-Q算法,以降低多信号交叉口的车辆油耗。

此外,结合速度引导策略的信号配时研究也提升了交叉口通行能力。梅朝辉^[18]和龙科军等学者^[19]分别提出了信号协调控制模型和速度引导与绿波优化模型。Dong等学者^[20]设计了基于速度引导的可拆分车队信号控制方法。这些研究都有效证明了结合速度引导的信号配时可以有效降低交叉口的延误和停车次数。

综上,现有大多数对车速引导策略的研究基于V2I通信接收信号相位和配时信息,建立一系列规则来提出速度规划算法。但对于车辆车速引导的对象而言,大多为考虑单车或车队的引导,较少有研究考虑前方车辆的影响。但对于实际行驶的车辆而言,如果目标车辆与前车车辆距离较近,但却仍然选择计算的优化车速,极有可能与前方车辆发生碰撞,造成原车速引导的控制失效。本文将考虑车辆加速时会与前方车辆发生碰撞的可能性建立考虑前车影响下的车速引导模型,同时考虑绿灯启亮时交叉口排队处车辆的消散对车速引导的影响,建立考虑排队消散的车速引导模型。

本文的其余部分组织如下。第1节介绍了问题描述与基本假设。第2节建立了2个速度引导模型。第3节进行了模型验证与数据分析。最后,第4节给出了结论和对未来研究方向的建议。

1 问题描述与基本假设

车辆的车速引导一般为绿灯结束的加速引导以及红灯结束的减速引导。这里以绿灯结束为例,如

图1所示,如果车辆不调整速度继续前进,则在信号灯变红时到达路口,并在到达交叉口时停下。如果车辆需要不停顿地通过路口,常见的做法是将绿灯时间延长至车辆可通过交叉口,这意味着现有方法需要获取车辆到达时间作为输入以优化信号时长并延长绿灯。然而,车辆也可以通过其他方式在不停顿的情况下通过路口。例如,引导驾驶速度从 v_0 到 v_c ,可以帮助车辆在绿灯期间到达路口且无需重新计算信号时长。

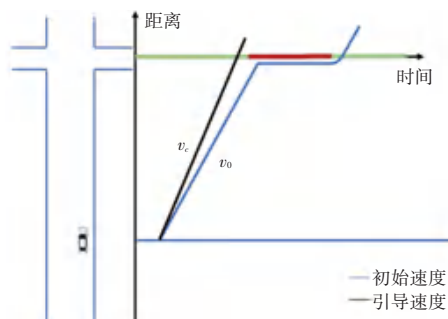


图1 到达时刻处于绿灯结束示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the arrival moment at the end of the green light

当前的大多数研究,主要的研究对象为单车或者车队的头车在自由行驶的状态下,较少有文献研究前方车辆对引导车辆的影响。然而实际驾驶环境中随着交通密度的增加,前方车辆的速度和位置会对后续车辆的行驶产生重大影响。加速引导车辆未考虑前车示意如图2所示。如果引导车辆仅根据当前的车速引导进行行驶,而忽视了前方车辆的存在,驾驶员可能会以不安全的速度接近前方车辆,从而增加追尾碰撞的风险。

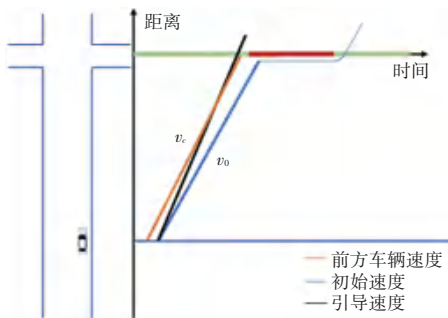


图2 加速引导车辆未考虑前车示意图

Fig. 2 Schematic diagram of accelerated guided vehicle without considering the preceding vehicle

为了保证引导车辆的安全性,车速引导模型应该考虑前方车辆对引导车辆的影响。本文的研究问题可以具体表述为:综合考虑前方车辆的速度、加速

度、位置,对引导车辆的车速和加速度进行合理规划(如图3所示),避免潜在的碰撞风险,提升整体交通流的效率和通行能力。为了简化问题,本文拟采用以下假设:

(1)模型研究的对象是自动驾驶汽车。车辆均安装有车载系统,可实时监测车辆位置、速度并可向其他设备传递该信息。

(2)车辆可接收信息中心传递的信息,如交叉口的信号配时、信号周期的实时状态,引导车辆严格遵循速度引导信息的指示。

(3)此模型仅研究单车道。不考虑车辆的转向、变道及超车行为。不考虑行人、非机动车和公交车的影响。

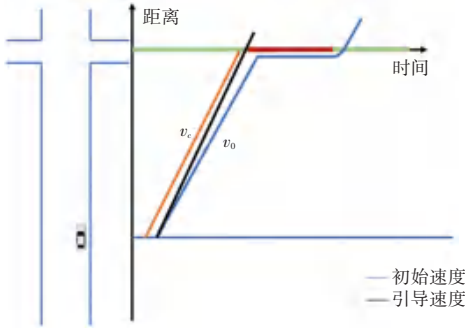


图3 考虑前方车辆影响的车速引导

Fig. 3 Speed guidance considering the influence of the preceding vehicles

2 考虑前车影响的速度引导模型

已知交通信号控制周期为 C , 车辆的初始速度为 v_0 , 车辆距离停车线的距离为 l , 交通信号灯所处周期的时刻为 t_n 。车辆在该车道行驶的最高车速为 $v_{\max}$, 加速度为 a 。车辆匀速行驶到达停车线所需要的行程时间为:

$$t_0 = \frac{l}{v_0} \quad (1)$$

车辆以加速度 a 匀加速到最高速度后匀速行驶到停车线所需要的行程时间为:

$$t_c = \frac{v_{\max} - v_0}{a} + \frac{l - \frac{v_{\max}^2 - v_0^2}{2a}}{v_{\max}} \quad (2)$$

当车辆到达停止线时,信号灯所处周期内的时刻 t_m 为:

$$t_m = t_c + t \quad (3)$$

其中, t_m 仍处于当前信号周期,计算公式为:

$$t_m = t_c + t - C \quad (4)$$

其中, $t_m > C$, 即 t_m 处于下一信号周期。

假设信号灯处于绿灯时段为 $0 \sim T_g$, 处于红灯时刻为 $T_g \sim T_r$ 。

当车辆匀速行驶时,若 $0 \leq t_m \leq T_g$ 时,即车辆以该车速匀速行驶至停止线时仍处于当前周期的绿灯时段内。如果车辆前方无车辆行驶速度低于该速度,车辆可匀速通过该交叉口。

2.1 绿灯结束前状态下考虑前车的加速引导

当车辆以绿灯结束时的速度进入速度引导区时,可能会遇到在剩余绿灯时间内无法通过路口,需要停车等待下一个绿灯亮起的情况。如果车辆提前加速到这个速度,车辆可以在红灯起亮之前通过停车线。

若 $0 \leq t_m \leq T_r$, 即车辆以该车速匀速行驶至停止线时,处于红灯时段,则需要对车辆进行车速引导,需在前方路段加速行驶在该信号周期通过交叉口或减速行驶在下一信号周期通过交叉口。当车辆加速行驶在本信号周期内通过交叉口。对车辆进行速度引导使其在本信号周期加速通过交叉口共分为2种情形。分述如下。

(1) 车辆加速到某一速度 v_x 后匀速行驶,受引导车辆到达停车线,车辆恰好能通过交叉口,此时 $t_m = T_g$ 。如果车辆前方无车辆行驶速度低于该速度,车辆可匀速通过该交叉口。车辆在 t_n 到 T_g 时刻所需时间 t_s 为:

$$t_s = T_r - t_n \quad (5)$$

假设车辆加速的时间为 t_{s1} , 车辆匀速的时间为 t_{s2} , 则有:

$$t_s = t_{s1} + t_{s2} \quad (6)$$

$$v_x = v_0 + at_{s1} \quad (7)$$

$$l = v_0 t_{s1} + \frac{1}{2} at_{s1}^2 + v_x t_{s2} \quad (8)$$

联立上式,可得车辆加速通过交叉口的速度 v_x 为:

$$v_x = \frac{2al + v_0^2}{v_0 + at_s} \quad (9)$$

(2) 如果引导车辆前方车辆的速度小于诱导车速时,即引导车辆加速行驶到目标车速可能会与前方车辆发生碰撞。假设车辆前方车辆速度为 v_m , 则车辆加速至 v_m 后匀速行驶至停车线所需要的行程时间为:

$$t = \frac{v_m - v_0}{a} + \frac{l - l_s - \frac{v_m^2 - v_0^2}{2a}}{v_m} \quad (10)$$

$$v_m = \frac{-(at + v_0) \pm b}{2} \quad (11)$$

$$b = \sqrt{(at + v_0)^2 - 2a \cdot \left(2l - 2l_s + \frac{v_0^2}{2a}\right)} \quad (12)$$

其中, l_s 表示安全距离。

车辆行驶至停车线时, 所处信号周期的时刻 t_m 见式(3)或式(4)。

若 $0 \leq t_m \leq T_g$ 时, 则引导车辆以车速 v_m 行驶时, 可跟随前车在当前周期的绿灯时间内通过此交叉口; 若 $T_h \leq t_m \leq T_r$ 时, 则引导车辆以车速 v_m 行驶时, 无法在此信号周期内通过该交叉口, 此时对引导车辆的速度引导行驶为减速行驶。

2.2 红灯结束后状态下考虑排队消散的减速引导

在城市道路中, 受交通信号灯相位转换的影响, 交通流会形成多种交通波。这些交通波相互作用, 形成了交叉口车辆队列的产生与消散, 如图 4 所示。

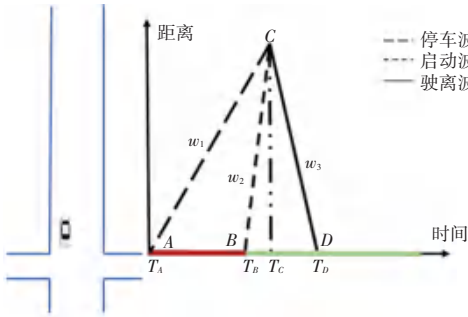


图 4 排队消散过程
Fig. 4 Queue dissipation process

当信号红灯亮时, 到达的车辆受到信号灯控制影响被迫停车排队, 到达的车辆和停车排队的车辆之间形成向交叉口上游传播的排队累积冲击波 w_1 , 流量为 q_a , 密度为 k_a , 如 AC 段所示。信号周期绿灯启亮时, 交叉口处于排队状态的车辆开始以饱和流率通过交叉口, 从而引发排队消散波 w_2 , 从排队队列的第一辆车开始, 向交叉口上游方向传播, 如 BC 段所示。当路网处于非饱和状态下, 排队消散波的波速会大于集结波波速, 即车辆离开率大于到达率, 故两波会在某个时刻相遇产生速度为 w_3 的驶离波向停车线方向传播, 如 CD 段所示。

根据以上分析, 推得的公式为:

$$u_1 = \frac{0 - q_a}{k_j - k_a} \quad (13)$$

$$u_2 = \frac{q_s - 0}{k_s - k_j} \quad (14)$$

$$u_3 = \frac{q_s - q_a}{k_s - k_a} \quad (15)$$

其中, u_1, u_2, u_3 分别表示 3 个状态下的波速; q_s 表示道路饱和流量, 单位为 $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$; k_j 表示阻塞密度。

根据交通波理论可得:

$$T_C - T_B = \frac{u_1 \times (T_C - T_A)}{|u_2| - |u_1|} \quad (16)$$

$$(T_D - T_B) = \frac{(T_C - T_A) q_a}{q_s - q_a} \quad (17)$$

最大排队长度为:

$$L_{\max} = |u_1| \cdot (T_C - T_A) = |u_2| \cdot (T_C - T_B) = |u_3| \cdot (T_D - T_C) \quad (18)$$

为了保证交叉口通行能力, 需要考虑引导车辆的停车次数, 即车辆不可无约束地进行减速。考虑排队消散的减速引导如图 5 所示。由图 5 可知由于信号灯时刻由红灯时间转向绿灯时间后, 停车线后的车队以某一消散速度通过交叉口。

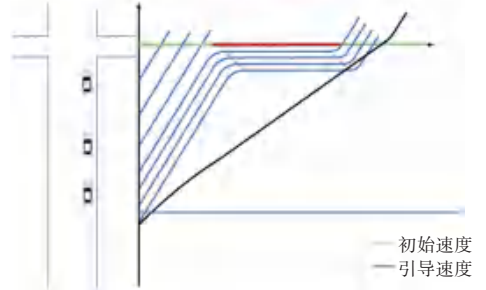


图 5 考虑排队消散的减速引导

Fig. 5 Deceleration guidance considering queue dissipation

车辆先以 v_0 车速匀速行驶后减速到 v_s 所需时间 t_m 为:

$$t = \frac{v_0 - v_s}{a} + \frac{l - l_s - \frac{v_0^2 - v_s^2}{2a}}{v_0} + (T_D - T_B) \quad (19)$$

$$v_s = v_0 \pm \sqrt{2av_0 \cdot \left(t - \frac{l - l_s}{v_0} - (T_D - T_B)\right)} \quad (20)$$

其中, v_s 表示排队车辆的消散速度; l_s 表示车辆间的安全距离。

车辆行驶至停车线时, 所处信号周期的时刻 t_m 见式(3)或式(4)。

如果此时 $t_m = T_D$, 则说明车辆恰好可跟随前方排队车辆通过交叉口; 若 $t_m < T_D$, 则说明车辆无法跟随前方排队车辆通过交叉口, 此时不对该车辆进行速度引导。

3 仿真验证

3.1 仿真平台搭建

选取上海市控江路双阳路交叉口搭建了 Sumo 仿真平台,绘制相关路网以及建立车辆类型进行验证,根据当前车速引导的策略设计相关仿真方案以及设置相关参数,对无策略控制的交叉口和实施本文车速引导模型的交叉口仿真结果进行对比分析。仿真场景如图 6 所示。



图 6 仿真场景图
Fig. 6 Simulation scenario

该交叉口东西双向 6 车道,南北双向 6 车道,综合各因素本文只对东进口直行车车辆进行分析,分别在设置 E2、E3、E4 检测器采集数据。仿真及模型计算主要参数设置见表 1,具体信号配时见表 2。

表 1 仿真及模型计算主要参数

Table 1 Main parameters of simulation and model calculation	
仿真参数	参数值
车辆类型	私家车
车辆长度/m	5
最小车头时距/s	2
最大车速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	16.67
仿真参数	参数值
跟驰模型	IDM
最大加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	2.5
最大减速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	2.5
期望最大车速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	16.67

表 2 交叉口信号配时

Table 2 Intersection signal timing				s
时间区段	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4
绿灯时间	33	15	33	15
黄灯时间	3	3	3	3
红灯时间	72	90	72	90

3.2 仿真结果分析

3.2.1 车辆时空轨迹分析

(1)单个车辆的运行轨迹。图 7 展示了速度引导前后速度与距离的关系。分析发现,蓝色曲线在

约 400 m 处有明显速度下降,而红色曲线保持稳定。蓝色曲线在部分距离上存在显著波动,速度引导前(蓝色曲线)由于信号灯为红灯在交叉口减速停车。速度引导后(红色曲线)车辆能保持稳定速度且通过交叉口,避免波动和骤降,提高整体运行效率。

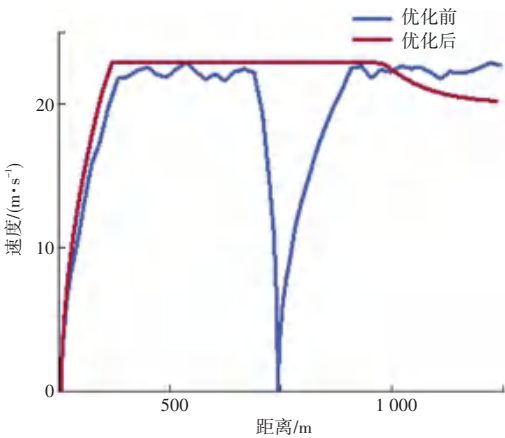


图 7 车辆距离与速度轨迹图
Fig. 7 Vehicle distance and speed trajectory map

图 8 展示了速度引导前后距离与时间的关系。在 270 s 内,2 条曲线均表现出了距离随时间增加而上升。在 270 s 时,蓝色曲线的上升速度显著减缓、并不再上升。而红色曲线在 270 s 后继续以较快速度上升,最终距离明显超过蓝色曲线。这是因为速度引导前(蓝色曲线)车辆前方有减速停车车辆,因此自身行驶速度显著下降。速度引导后(红色曲线)通过优化速度,前方车辆通过了交叉口,因此车辆持续保持高速行驶,在相同时间内行驶距离显著增加,提高整体行驶效率。

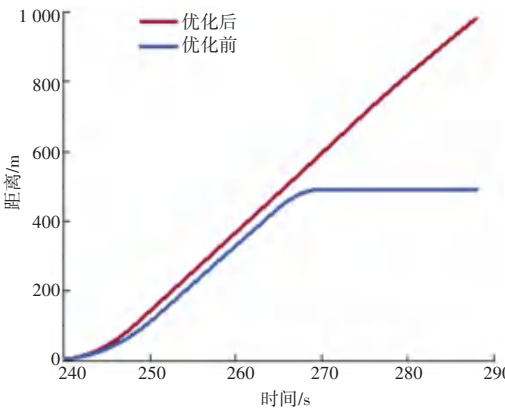


图 8 车辆时间与距离轨迹图
Fig. 8 Vehicle time and distance trajectory map

速度引导技术的应用显著改善了车辆在不同距离和时间段上的速度稳定性和行驶效率。速度引导后,车辆能够快速达到并维持高速度,避免速度波动和骤降,在同样时间内行驶更远距离,提高了整体行

驶效率。

(2) 仿真时间内所有车辆的运行轨迹。图 9 展示了优化前的车辆轨迹, 每条曲线代表一个车辆的运行情况。车辆轨迹的波动幅度较大表现出明显的不稳定性。每个车辆的波动规律相似, 但整体上波动幅度较高, 显示出系统在不同时间点的性能差异较大。

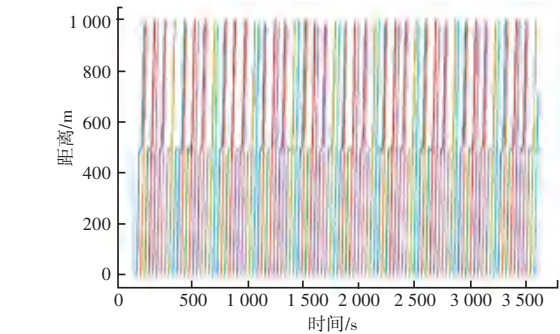


图 9 优化前车辆时间与距离轨迹图

Fig. 9 Vehicle time and distance trajectory map before optimization

图 10 展示了优化前的车辆速度与距离的关系, 图 10 中每条曲线代表车辆运行的速度变化情况。曲线在约 500 m 处出现显著下降, 表现出车辆在该距离处存在明显的速度骤降现象。经过这一下降点后, 曲线速度逐渐恢复并趋于稳定, 但整体速度存在较大波动, 不同运行之间的速度差异较大。

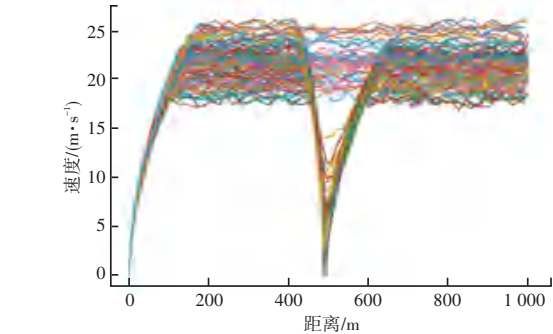


图 10 优化前车辆速度与距离轨迹图

Fig. 10 Vehicle speed and distance trajectory map before optimization

图 11 展示了优化后的车辆轨迹, 车辆的波动幅度显著减少, 表现出更高的稳定性。与图 9 相比, 每个车辆的波动规律依然相似, 但整体上车辆的波动幅度较低, 显示出系统在不同时间点的性能差异较小, 表现出更稳定的性能。图 12 展示了优化后的系统速度与距离的关系, 与图 10 相比, 仍有曲线在约 400 m 处同样出现速度骤降, 但在优化后, 这一现象得到显著改善, 曲线在骤降后的恢复速度更快、且更

稳定。优化后的曲线在整个运行过程中表现出更高的一致性, 各次运行之间的速度差异明显减小, 波动幅度减少。

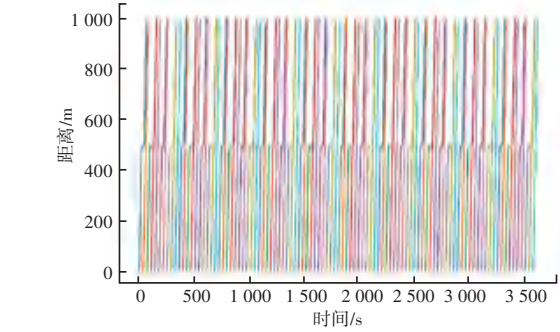


图 11 优化后车辆时间与距离轨迹图

Fig. 11 Vehicle time and distance trajectory map after optimization

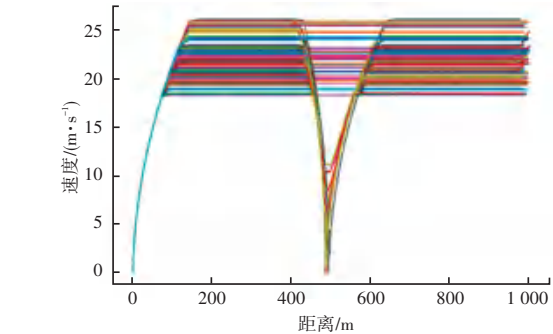


图 12 优化后车辆距离与速度轨迹图

Fig. 12 Vehicle distance and speed trajectory map after optimization

3.2.2 行程油耗消耗分析

在本文模型的引导下, 车辆可以尽量避免红灯期间的排队等待, 更多的车辆将以较平稳的速度不停车通过交叉口, 避免了停车线前频繁的车辆启停和怠速状态。通过设置的检测器获取车辆的速度、加速度和期间车辆的总燃油消耗量。对比可知, 车辆的总燃油消耗量比没有速度引导时减少了 5.48%, 说明本文模型能降低车辆运行过程中燃油消耗。燃油消耗见表 3。

表 3 优化前后燃油消耗对比表

Table 3 Comparison of fuel consumption before and after optimization

成分	优化前	优化后	节油效果/%
CO	4.44	3.83	13.91
CO ₂	193.44	182.85	5.48
HC	24.71	21.56	12.74
PM _x	3.97	3.68	7.45
NO _x	79.98	73.93	7.56
fuel	61.70	58.32	5.48

3.2.3 最大排队长度和停车次数分析

在传统行驶过程中, 驾驶员只能根据周围车辆状态或经验采取驾驶措施, 不能提前避免在红灯期间排队等待。而在本文模型中驾驶员能提前获取交通信息和目标车速建议, 因此排队车辆数明显减少, 最大排队长度平均减少了 4.4 m, 减少了 7.14%; 停车次数平均减少了 2 次, 减少了 5.91%。这说明本文模型提高了交叉口的通行效率, 结果如图 13、图 14 所示。

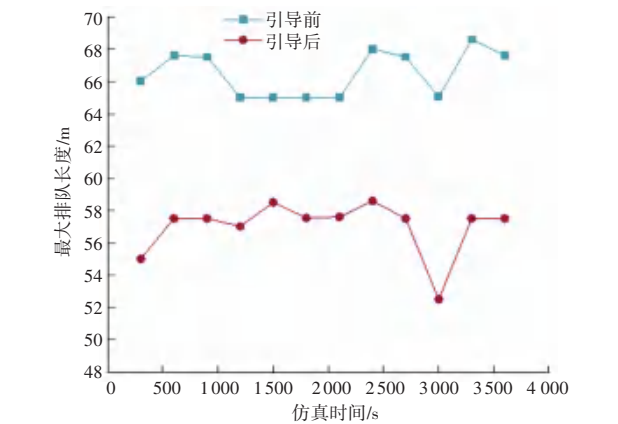


图 13 最大排队长度优化前后对比图

Fig. 13 Comparison of maximum queue length before and after optimization

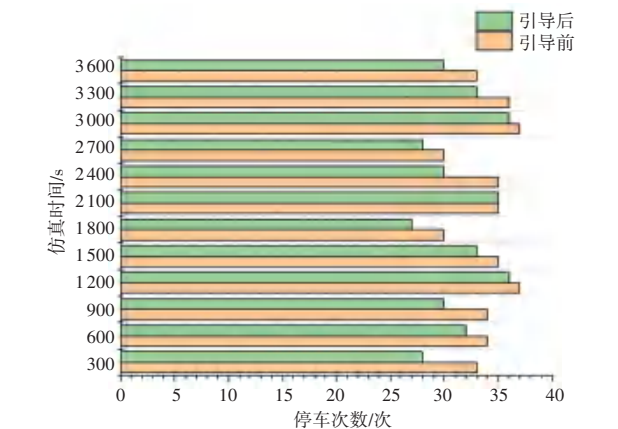


图 14 最大排队长度优化前后对比图

Fig. 14 Comparison of maximum queue length before and after optimization

3.2.4 延误分析

由前文结果可知, 在本文模型引导下, 车辆因红灯频繁启停的时间减少, 所以造成的延误也随之减少, 较没有速度引导时平均减少了 2.17 s, 减少了 11.09%。车辆延误对比结果如图 15 所示。

3.2.5 不同流量下运行指标分析

为了进一步验证本文模型在各种交通状态中的适应性, 分别选用流量为 100、300、600、900 所对应

的不同交通流量情况对模型进行验证, 结果见表 4~表 6。相对于无速度引导, 在本文模型引导下车辆最大排队长度、延误及停车次数均有明显降低, 说明改善效果基本不受交叉口饱和度的影响, 适用于不同流量下的交通量。

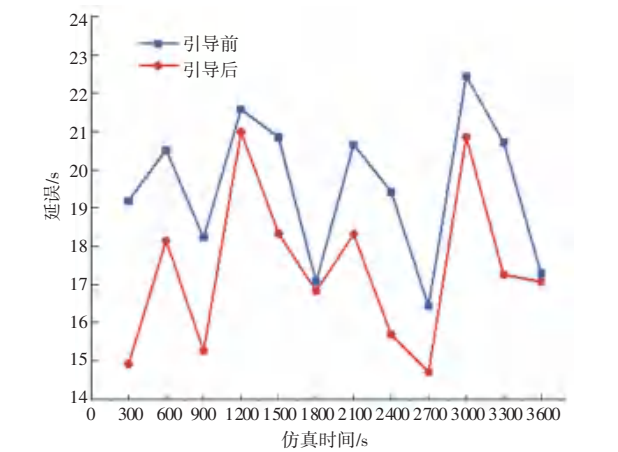


图 15 延误优化前后对比图

Fig. 15 Comparison of delay before and after optimization

表 4 不同流量下的排队长度

Table 4 Queue length under different flow rates m			
流量	排队长度		
	未引导	引导后	优化效果/%
100	27.82	27.50	1.15
300	27.82	27.50	1.15
600	61.55	57.15	7.15
900	106.74	94.39	11.57

表 5 不同流量下的排队延误

Table 5 Queuing delays for different traffic flows s			
流量	延误		
	未引导	引导后	优化效果/%
100	15.75	14.57	7.49
300	15.75	14.57	7.49
600	19.53	17.36	11.11
900	28.57	20.22	29.23

表 6 不同流量下的停车次数

Table 6 Number of stops under different traffic flows 次			
流量	停车次数		
	未引导	引导后	优化效果/%
100	14.08	13.50	4.12
300	14.08	13.50	4.12
600	33.83	31.83	5.91
900	70.67	55.92	20.87

4 结束语

交叉口道路在城市交通系统中广泛存在,车速引导可以减少该区域的能源消耗和排放。本文提出了一种速度引导策略来探索每辆车在交叉口过程中的驾驶行为、停车时间和燃油消耗。并对该速度引导策略在模拟场景下进行了测试,仿真结果显示通过速度引导车辆的总燃油消耗减少,减少 5.48%。再次分析可知,交叉口的排队长度和车辆的平均停车次数时间明显减少,有助于提高交叉口的交通效率。然而,本文存在以下局限性:对于交通量较高的情况下,车辆将以车队状态行驶,本文模型在此情况下的验证仍有待进一步讨论研究。此外,研究中未特别考虑行人、非机动车等影响,可能会对模型的精度亦造成一定的影响。

参考文献

- [1] YANG Z, ZENG H, YU Z, et al. Research on eco-driving strategy at intersection based on vehicle infrastructure cooperative system[J]. *Advances in Mechanical Engineering*, 2019, 11(4): 1687814019843368.
- [2] LI Jinjue, YU Chunhui, SHEN Zilin, et al. A survey on urban traffic control under mixed traffic environment with connected automated vehicles[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2023, 154: 104258.
- [3] CABAN J, VRÁBEL J, ŠARKAN B, et al. About eco-driving, genesis, challenges and benefits, application possibilities [J]. *Transportation Research Procedia*, 2019, 40: 1281–1288.
- [4] 曲大义, 万孟飞, 王兹林, 等. 干线协调控制优化及其应用[J]. *交通运输工程学报*, 2016, 16(5): 112–121.
- [5] LI Zhenning, WU Qiong, YU Hao, et al. Temporal-spatial dimension extension-based intersection control formulation for connected and autonomous vehicle systems [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2019, 104: 234–248.
- [6] TANG Tieqiao, YI Zhiyan, ZHANG Jian, et al. A speed guidance strategy for multiple signalized intersections based on car-following model[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2018, 496: 399–409.
- [7] YANG Yudi, CHEN Shenyang, SUN Jian. Modeling and evaluation of speed guidance strategy in VII system [C]//13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. Piscataway, NJ: IEEE, 2010: 1045–1050.
- [8] 李鹏凯, 吴伟, 杜荣华, 等. 车路协同环境下多车协同车速引导建模与仿真[J]. *交通信息与安全*, 2013 (2): 134–139.
- [9] 刘欢, 杨雷, 邵社刚, 等. 车路协同环境下信号交叉口速度引导策略[J]. *重庆交通大学学报 (自然科学版)*, 2019, 38 (12): 8–17.
- [10] XU Qing, WANG Jiangfeng, WANG Botong, et al. Modeling and simulation of intersection quasi-moving block speed guidance based on connected vehicles [J]. *Journal of Intelligent and Connected Vehicles*, 2020, 3(2): 67–78.
- [11] WU W, LI P K, ZHANG Y. Modelling and simulation of vehicle speed guidance in connected vehicle environment [J]. *International Journal of Simulation Modelling*, 2015, 14 (1): 145–157.
- [12] LIU Shuai, ZHANG Weitong, WU Xiaojun, et al. A simulation system and speed guidance algorithms for intersection traffic control using connected vehicle technology[J]. *Tsinghua Science and Technology*, 2018, 24(2): 160–170.
- [13] 王东磊. 不同速度引导策略下信号交叉口减排效果研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2016.
- [14] 石琴, 陈沪江, 陈一锴. 信号交叉口智能网联车车队速度引导策略研究[J]. *重庆交通大学学报 (自然科学版)*, 2021, 40 (2): 47–53.
- [15] 孟竹, 邱志军. 节能导向的信号交叉口生态驾驶策略研究[J]. *交通信息与安全*, 2018, 36(2): 76–84.
- [16] SUN Chao, GUANETTI J, BORRELLI F, et al. Optimal eco-driving control of connected and autonomous vehicles through signalized intersections [J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2020, 7(5): 3759–3773.
- [17] YANG Hao, ALMUTAIRI F, RAKHA H. Eco-driving at signalized intersections: A multiple signal optimization approach [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2020, 22(5): 2943–2955.
- [18] 梅朝辉. 车路协同环境下干线交叉口信号协调控制方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
- [19] 龙科军, 高志波, 吴伟, 等. 城市道路干线信号协调控制与车速引导集成优化[J]. *长安大学学报 (自然科学版)*, 2018, 38 (2): 94–102.
- [20] DONG Shuyang, ZHANG Jian, WANG Han, et al. A speed guidance-based signal control method for divisible platoon in CVIS [C]//2018 IEEE 8th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). Piscataway, NJ: IEEE, 2018: 1403–1408.