

利用无人驾驶车辆通信的交叉口信号设计方法

张煜坤 梁书洪 曹尚斐 辛光照 莫春章 姜浩

【摘要】2023年年底住房和城乡建设部等部委开展智能网联汽车准入和上路通行试点工作，无人驾驶成为城市道路交通的发展趋势。无人驾驶的网约车、出租车、公交车不仅可以提供出行服务，也可以作为动态交通流检测车辆，满足智能交通管理的需要。本文以信号交叉口控制方法为例，首先介绍无人驾驶车辆通信对交叉口信号设计的优化作用，然后提出基于无人驾驶车辆通信的交叉口信号设计方法，包括根据无人驾驶车辆通信数据进行全域交叉口信号设计的步骤和关键的信号设计参数等内容，最后通过 SUMO 交通仿真软件模拟进一步体现无人驾驶车辆的实际交通管理价值。

【关键词】无人驾驶；通信；交叉口；信号设计

1 无人驾驶车辆通信对交叉口信号设计的优化作用

无人驾驶车辆通信技术在交叉口信号设计中扮演着重要的角色。通过实时数据的收集和传输，无人驾驶车辆能够提供交叉口交通状况的精准信息，这为交叉口信号的优化提供了可靠的支持^[1]。智能信号优化是其中一个关键方面，基于无人驾驶车辆提供的数据，交叉口信号可以实现智能化调整，根据交通流量和车辆行驶方向进行优化，从而有效提高交通效率。传统的交叉口信号通常是固定的，但随着交通状况的不断变化，这些固定方案无法满足实际需求。通过与无人驾驶车辆的实时通信，交叉口信号可以根据实际交通情况进行动态调整，以适应不同时间段和交通流量的变化，从而有效减少交通拥堵。

此外，无人驾驶车辆通信还有助于提高交通安全性。通过与无人驾驶车辆的实时通信，交叉口信号可以及时获取交通事故、道路状况等信息，并作出相应调整，以降低交通事故的发生概率，保障行车安全。例如，在发现交通事故或者道路施工时，交叉口信号可以通过与无人驾驶车辆的通信，及时调整信号方案，引导车辆绕行，减少事故发生的可能性^[2]。随着无人驾驶技术的不断发展和普及，无人驾驶车辆通信将在交通管理领域发挥越来越重要的作用，为未来智慧城市的建设和交通运输的发展提供有力支持。



图 1 无人驾驶车辆通信对交叉口信号设计的作用

2 全域交叉口信号优化可以带来许多效益

全域交叉口信号优化是现代城市交通管理的重要策略之一，其带来的效益不仅局限于减少交通拥堵和降低通行延误，更涉及到了诸多方面的积极影响。首先，通过优化交叉口信号，可以有效减少交通拥堵，改善道路通行状况。随着城市人口和车辆数量的增加，交通拥堵成为了制约城市发展和居民出行的主要问题之一。全域交叉口信号优化通过智能化调整信号方案，根据实时交通数据实施动态控制，有效分流车流，降低了交通拥堵的发生频率和程度，提高了道路通行效率。

另外，全域交叉口信号优化还有助于节约能源减少排放。交通拥堵不仅影响了出行效率，也增加了车辆的排放量，加剧了城市的环境污染问题。通过优化交叉口信号，减少交通拥堵，可以降低车辆的空转时间，减少能源的消耗，从而减少了污染物的排放，改善了城市的环境质量。

总的来说，全域交叉口信号优化所带来的诸多效益，包括减少交通拥堵、降低通行延误、提高交通安全、节约能源减少排放、提高出行效率、改善交通体验以及提升城市形象等，都有助于提升城市交通系统的整体运行效率和居民生活质量^[3]。随着科技的不断发展和应用，全域交叉口信号优化将在未来城市交通管理中扮演着越来越重要的角色，为城市的可持续发展 and 居民的幸福生活贡献更多力量。

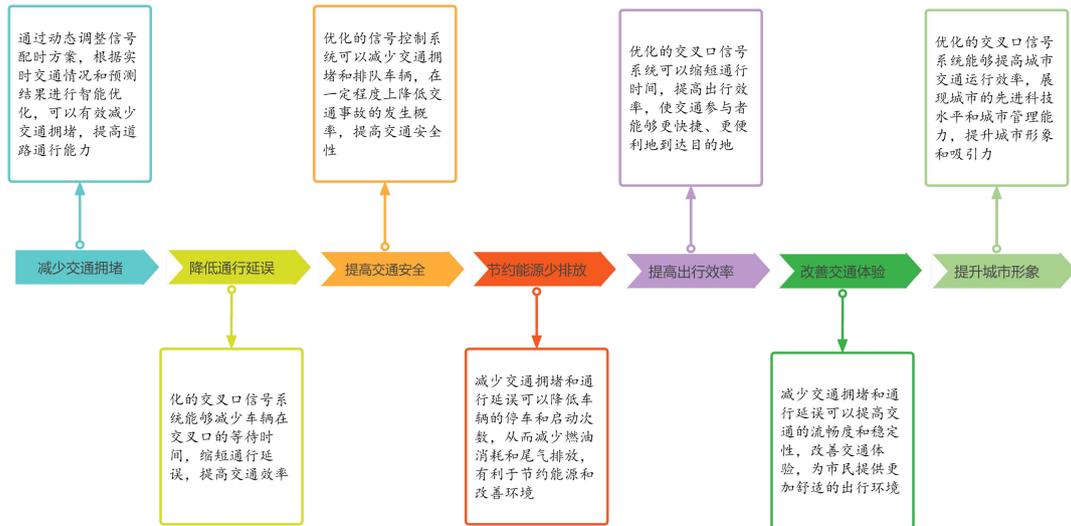


图 2 全域交叉口信号优化的效益

3 根据无人驾驶车辆通信数据进行全域交叉口信号设计的步骤

3.1 单点交叉口和干线交叉口的信号设计步骤

利用无人驾驶车辆通信数据进行交叉口信号设计需要充分发挥数据分析和智能算法的作用。首先, 通过对大量的实时交通数据进行分析, 可以深入了解交叉口的交通流量、车速、车辆密度等情况, 为信号优化提供科学依据。其次, 结合智能算法, 可以根据不同时间段和交通状况, 自动调整信号配时方案, 提高交通流畅度和通行效率。同时, 建立实时监控和反馈机制, 能够及时捕捉交通异常情况, 并快速响应调整信号控制, 减少拥堵的发生, 提高交通安全性。综合利用数据分析、智能算法、实时监控和反馈机制, 可以不断优化交通信号, 提升单点和干线交叉口的交通效率, 实现城市交通系统的智能化管理和优化^[4]。

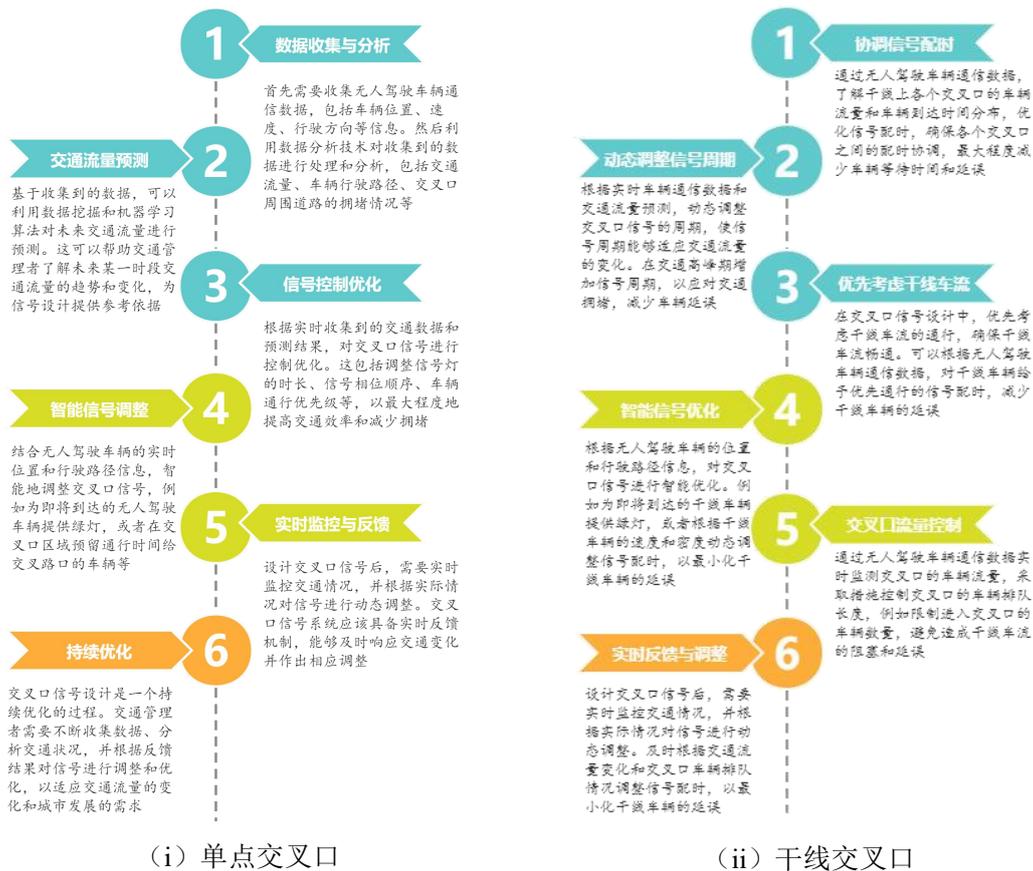


图 3 基于无人驾驶车辆通信数据进行单点和干线交叉口信号设计步骤

3.2 全域交叉口

以降低延误为例，充分利用无人驾驶车辆通信数据和先进的技术手段设计智能的交叉口信号控制系统。系统能够实时获取无人驾驶车辆的位置、速度、行驶路线等数据，并通过数据分析算法预测交叉口的交通流量和车辆到达时间。基于这些数据，系统可以智能地调整交叉口信号的配时方案，优化车辆通过交叉口的顺序和时间间隔，以最小化延误。基于无人驾驶车辆通信数据设计的智能交叉口信号控制系统通过充分利用数据分析、智能算法、实时监控和反馈机制等技术手段，不断优化信号控制策略，提高交通流畅度和通行效率，为城市交通运输带来更加智能、高效的管理和服务^[5]。

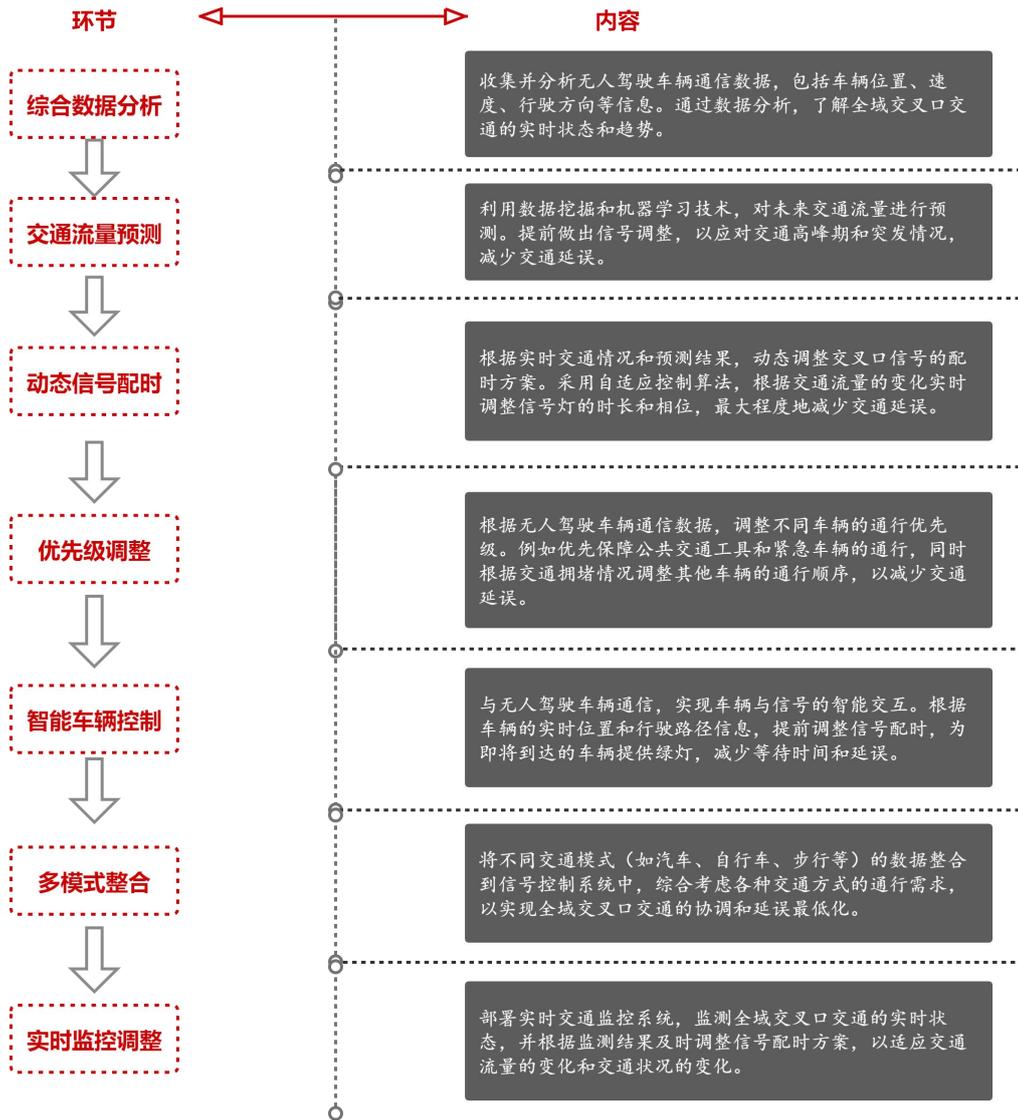


图 4 基于无人驾驶车辆通信数据进行全域交叉口延误最小的信号设计

3.2.1 综合数据分析

通过传感器技术、车联网技术、数据挖掘和机器学习、地理信息系统、实时数据处理平台以及智能交通管理系统等技术和方法的综合应用，可以实现对无人驾驶车辆通信数据的收集和分析，进而了解全域交叉口交通的实时状态和趋势^[6]。

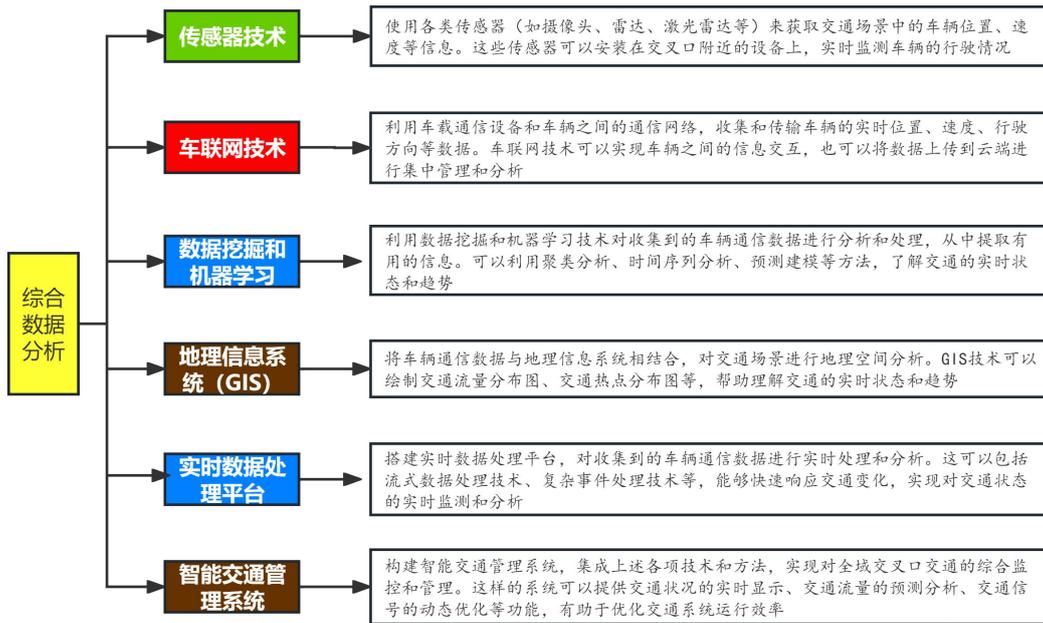


图 5 基于无人驾驶车辆通信的交叉口数据分析

3.2.2 智能车辆控制

通过车辆通信技术、实时定位系统、行驶路径规划算法、智能信号控制算法、实时交通监控系统和反馈机制等技术和方法的综合应用，可以实现车辆与信号的智能交互^[7]，并根据车辆的实时位置和行驶路径信息提前调整信号配时，为即将到达的车辆提供绿灯，减少等待时间和延误。

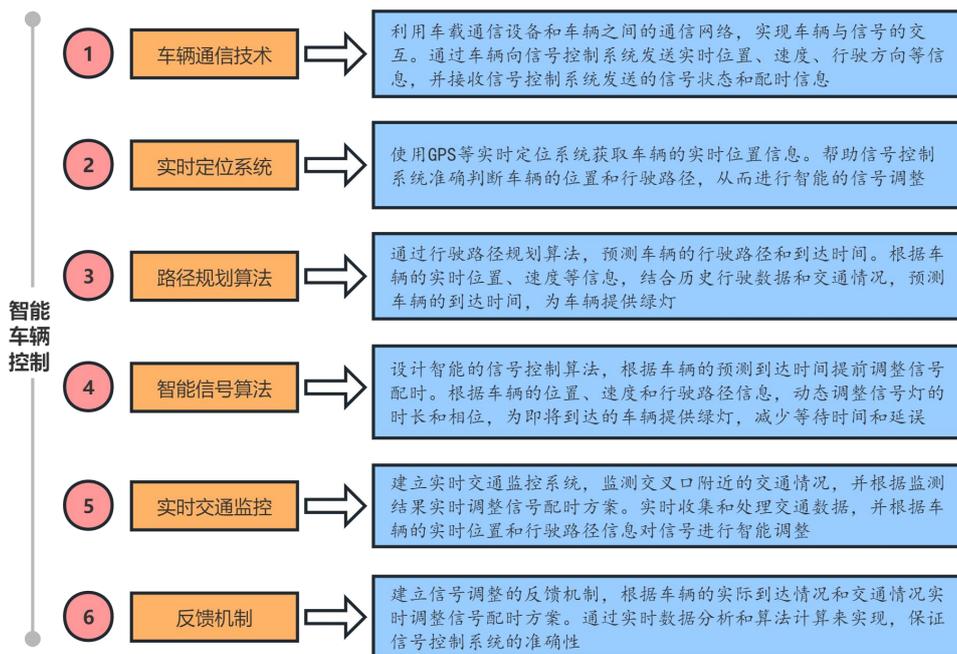


图 6 基于无人驾驶车辆通信的交叉口车辆智能控制

3.2.3 优先级调整

通过车辆类型识别、车辆通信技术、实时交通监控系统、优先通行规则设计、自适应控制算法、交通流量优化模型以及智能交通管理系统等技术和方法的综合应用，可以实现根据无人驾驶车辆通信数据调整不同车辆的通行优先级，以减少交通延误^[8]。



图 7 基于无人驾驶车辆通信的交叉口通行优先权调整

4 关键的信号设计参数

在设计交叉口信号时，控制变量参数扮演着至关重要的角色。这些参数的合理调整直接影响着交通系统的效率、安全性和通畅度。信号配时是其中最为关键的参数之一。通过合理设置红绿灯的时长和过渡时间，可以有效调节交叉口车辆的通行顺序和速度，避免交通拥堵和碰撞。灯光亮度和视觉提示也是至关重要的因素。明亮清晰的交通信号能够提供良好的视觉引导，帮助驾驶员准确判断交通状况，从而减少事故风险。信号灯的位置和高度也需要经过精心设计，以确保所有驾驶员都能够清晰地看到并理解交通信号，避免出现误解或混乱。此外，交叉口标志和标线的清晰度和合理性也是影响交通通畅度和安全性的重要因素。良好设计的标志和标线能够为驾驶员提供准确的引导和警示，减少迷失和错误行驶的可能性。



图 8 基于无人驾驶车辆通信的交叉口信号设计关键变量参数

5 利用 SUMO 软件 TRACI 模块模拟无人驾驶车辆实时优化信号

5.1 利用 SUMO 软件的 TRACI 模块进行交叉口信号实时优化的流程

使用 TRACI 模块提供的函数实时获取交通状态信息，包括车辆位置、速度、车辆行驶方向、加速度、目的地等。对获取到的交通状态信息进行数据处理和分析，例如计算车辆密度、流量、速度分布等指标，以了解交通状况。使用自适应控制算法、遗传算法、模糊逻辑控制等方法，根据实时获取的交通状态信息，调整交叉口的信号配时方案^[9]。

可以根据预设的优化目标，如最小化交通延误、最大化交通流量等，实时调整信号配时方案。综上所述，通过利用 TRACI 模块获取交通状态信息，设计信号优化算法，并结合自适应控制算法、遗传算法、模糊逻辑控制等方法，可以实现交叉口信号配时方案的实时优化。

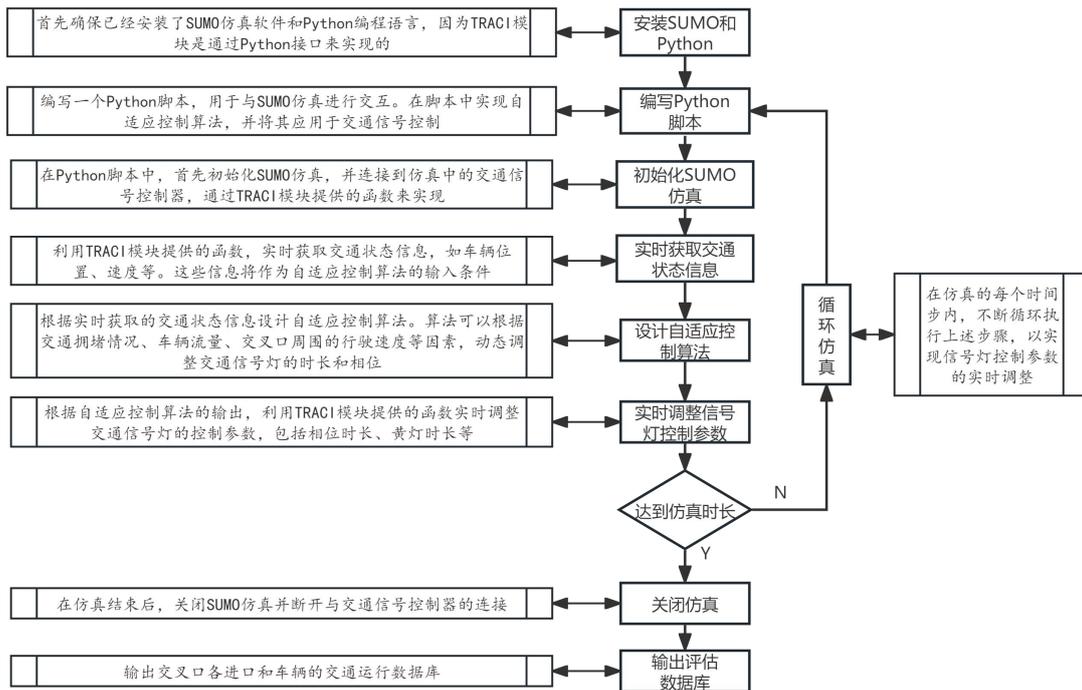
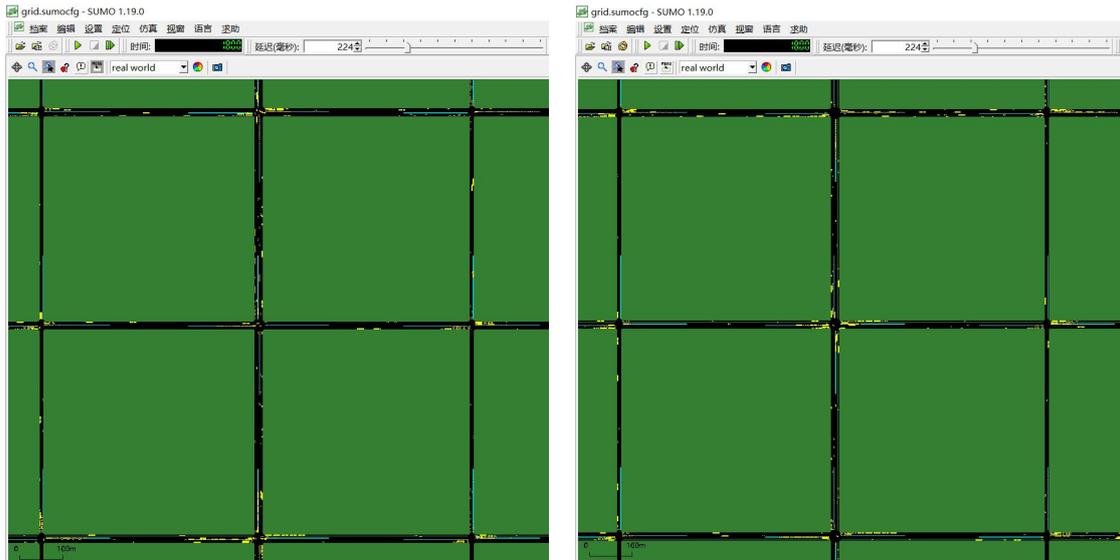


图 9 利用 SUMO 软件的 TRACI 模块模拟无人驾驶并进行信号实时优化

5.2 模拟无人驾驶通信进行交叉口信号配时的实时优化

利用 SUMO 软件中的 TRACI 模块进行无人驾驶模拟和交叉口控制是一种先进的交通管理方法。通过 TRACI 模块，可以实现对交通流的实时监控和控制，从而使交叉口的信号灯系统能够更加智能地响应实际交通状况。图 10 是来源有关 SUMO 软件 TRACI 研究成果，详细的 Python 介绍见注释，表明了通过 TRACI 模块控制交叉口信号，可以有效降低左转车辆排队长度，提升交叉口的通行效率。当检测到左转车辆排队长度接近或超过 10 辆时，系统可以及时调整信号配时，延长左转车辆的绿灯时间或者增加左转车辆的优先通行机会，以缓解排队压力，提高左转车辆的通行速度。

通过优化交叉口信号控制，减少了车辆的停车等待时间，有效节约了能源消耗，并降低了环境污染。这种智能的交通管理方法有助于优化城市交通系统，提升交通运输的效率和环境友好性。



(i) 固定信号配时模式

(ii) 利用 TRACI 控制左转车排队小于 10 辆

图 10 SUMO 软件仿真 30 分钟时路网车流量分布

6 结论

本文所介绍的无人驾驶车辆通信在交叉口信号设计中具有重要的实际应用价值。

(1) 提出无人驾驶车辆通信的信号优化作用。介绍了无人驾驶车辆通信对交叉口信号设计的优化作用，包括提供实时数据支持、智能信号优化、动态调整信号方案、提高交通安全性等方面。这些优势可以有效改善交通流畅度、减少交通拥堵、提高道路安全性。

(2) 建立基于无人驾驶车辆通信的交叉口信号设计方法。介绍了基于无人驾驶车辆通信的交叉口信号设计方法，包括根据实时数据进行全域交叉口信号设计的步骤和关键的信号设计参数。这种方法可以更加智能地调整信号控制，使交通系统更加高效。

(3) 介绍 SUMO 仿真软件的应用价值：通过 SUMO 交通仿真软件进行模拟进一步体现了无人驾驶车辆的实际交通管理价值。SUMO 仿真软件能够有效模拟不同交通场景下的交通流情况，验证交通管理方法的有效性和可行性。

基于无人驾驶车辆通信的交叉口信号设计方法对于优化交通管理具有重要意义。通过仿真软件的应用进一步验证了该方法的有效性，为未来交通管理提供了重要参考。在排队长度优化的基础上，SUMO 软件还可以输出仿真的交通安全、能源消耗、环境污染物、速度延误等运行指标数据库，实现全域路网车辆安全提升、节能减排、速度提升、公交优先等诸多信号设计目标。

注释

利用 SUMO 软件 TRACI 模块模拟无人驾驶并控制区域交叉口左转车排队小于 10 辆的 python 代码:

```
while traci.simulation.getMinExpectedNumber() > 0:
    traci.simulationStep()

    # Check all traffic lights for left turn delays
    for traffic_light in traffic_lights:
        current_phase = traci.trafficlight.getPhase(traffic_light.getID())
        current_ryg = traci.trafficlight.getRedYellowGreenState(traffic_light.getID())

        lane_detectors_ns = lane_detectors[traffic_light.getID()][ 'NS' ]
        lane_detectors_ew = lane_detectors[traffic_light.getID()][ 'EW' ]

        # Total number of cars waiting to turn left from north-south road
        total_vehicle_num_ns = 0
        for lane_detector in lane_detectors_ns:
            total_vehicle_num_ns += traci.lanearea.getLastStepVehicleNumber(lane_detector)

        # Total number of cars waiting to turn left from east-west road
        total_vehicle_num_ew = 0
        for lane_detector in lane_detectors_ew:
            total_vehicle_num_ew += traci.lanearea.getLastStepVehicleNumber(lane_detector)

        # Give priority to changing east-west roads when there are more than 10 cars waiting for a left
        if total_vehicle_num_ew > 10 and current_phase == 2:
            traci.trafficlight.setPhase(traffic_light.getID(), 3)
        elif total_vehicle_num_ns > 10 and current_phase == 0:
            traci.trafficlight.setPhase(traffic_light.getID(), 1)

    step += 1
traci.close()
```

参考文献

- [1] 罗斯达, 张帅. 初级无人驾驶环境下的平面交叉口动态信号控制[J]. 中南大学学报(英文版), 2019, 26(4):893-904.
- [2] 卢羽. 微观交通环境下的无人驾驶车辆行为安全策略研究[D]. 陕西:长安大学, 2019.
- [3] 余鹏程. 基于多智能体深度强化学习的区域交通信号协调控制研究[D]. 江苏:南京邮电大学, 2022.
- [4] 中智行(苏州)科技有限公司. 基于车路协调的自动驾驶交通信号灯信息获取系统和方法:CN202210873372.X[P]. 2022-12-06.
- [5] 高志波, 吴志周, 郝威, 等. 智能网联车环境下交叉口车流轨迹优化模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(2):91-97. DOI:10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.02.013.
- [6] 张子明. 基于智能网联车数据的快速路车道级交通状态估计研究[D]. 四川:西南交通大学, 2022.
- [7] 张守武, 王恒, 陈鹏, 等. 神经网络在无人驾驶车辆运动控制中的应用综述[J]. 工程科学学报, 2022, 44(2):235-243.
- [8] 庞明宝, 柴紫欣, 巩丹阳. 混合交通下智能网联车借道公交专用车道控制[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(4):118-124. DOI:10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.04.014.
- [9] 袁伯龙. 基于深度强化学习的信号交叉口智能控制方法研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2021.

作者简介

张煜坤，女，硕士，成都天府新区规划设计研究院，高级工程师。电子邮箱：
24148653@qq.com

梁书洪，男，硕士，成都天府新区规划设计研究院，工程师。电子邮箱：
857835709@qq.com

曹尚斐，男，硕士，成都天府新区规划设计研究院，市政设计部副部长，高级工程师。
电子邮箱：46378549@qq.com

辛光照，男，硕士，成都天府新区规划设计研究院，工程师。电子邮箱：
1026364325@qq.com

莫春章，男，硕士，成都天府新区规划设计研究院，工程师。电子邮箱：
511946396@qq.com

姜浩，男，硕士，成都天府新区规划设计研究院，市政设计部部长，高级工程师。电子
邮箱：2570468499@qq.com