Intelligent Control of Signal Timing for Multiple Intersections under Multi-Sensor Detection Information Feedback *

GUO Lidong[1*], REN Yongqiang[2]
(1.Department of Traffic Management, Shanxi police college, Taiyuan Shanxi 030401, China;
2.Department of Public Security Management, Shanxi Police College, Taiyuan Shanxi 030401, China)

Abstract: The traffic flow at multiple intersections is dynamic, but there are also certain patterns. The current intersection signal timing control is relatively fixed and lacks intelligent processes. Therefore, intelligent control of intersection signal timing is realized based on feedback from multiple sensor detectors. Multiple types of sensors are utilized to obtain information such as vehicle speed, type, quantity at each traffic intersection. An objective function is constructed with the objectives of minimizing vehicle delay time, average number of stops, and maximizing traffic capacity. The data collected from multiple sensors are used as input, a signal light timing collaborative control model is established by using the dragonfly algorithm. The weight and other parameters are corrected through a Gaussian mutation model to obtain the global optimal solution for signal light timing collaborative control. The experimental results show that the proposed method has high accuracy in predicting traffic flow at various intersections, with only a 3 v/h deviation between the results and the actual values during the 7:00 and 12:00 time periods. The traffic efficiency is over 94%, and the vehicle queue length is 1.2 m.

Key words: multi-junction traffic; signal light timing; multi-sensor detection; dragonfly algorithm
EEACC: 7230 **doi**: 10.3969/j.issn.1004-1699.2025.10.016

多传感探测信息反馈下多路口信号灯配时智能控制 *

郭丽东[1*], 任永强[2]
(1.山西警察学院交通管理系, 山西 太原 030401; 2.山西警察学院公安管理系, 山西 太原 030401)

摘 要: 多路口交通流量具有动态性, 但是也有一定的规律, 当前的路口信号灯配时控制较为固定, 缺少智能化过程。为此, 基于多传感探测器反馈实现路口信号灯配时智能控制。利用多种类传感器, 获取各交通路口的车速、类型、数量等信息。以车辆延误时间、平均停车次数最小化、通行能力最大化作为目标, 构建目标函数。将多传感器采集的数据作为输入, 采用蜻蜓算法建立信号灯配时协同控制模型, 通过高斯变异模型修正权重等参数, 从而获取信号灯配时协同控制全局最优方案。实验结果表明: 所提方法应用下的各个路口交通流量预测结果精度较高, 只有 7:00、12:00 时间段结果与实际值存在 3 v/h 的偏差, 通行效率均高达 94%以上, 车辆排队长度均为 1.2 m。

关键词: 多路口交通; 信号灯配时; 多传感探测; 蜻蜓算法;
中图分类号: TP351 **文献标识码**: A **文章编号**: 1004-1699(2025)10-1846-07

路口交通流量具有的动态性和不确定性, 是导致交通拥堵和道路通行效率降低的重要原因。车流量的动态变化、交通事故、天气变化等外部因素均会对交通流量产生影响, 从而增加了交通信号灯配时的难度[1]。例如, 在雨天, 道路湿滑易引发事故, 导致车辆通行速度下降, 从而影响了交通流量的稳定性和可预测性; 而在重要节假日或活动期间, 车流量猛增, 需要及时调整信号灯配时来适应实时变化的交通需求[2]。交通拥堵会导致车辆在路口等待时间延长, 降低了道路通行效率。因此, 为了减少交通拥堵, 提高道路通行效率, 需要研究路口信号灯配时控制, 以便更好地适应动态的交通流量变化, 提高交通系统的鲁棒性和适应能力。

在以上背景下, 郑晔等[3]利用马尔可夫决策构建各路口交通场景, 以各路口不堵塞为目标, 通过强化学习、回报函数得出信号灯配时协同控制策略, 该方法在复杂环境下需要大量的训练时间来调整参数和优化策略, 导致算法的收敛速度较慢; 吴啸宇等[4]以平均延误最小与平均停车次数最少为目标函数, 通过人工鱼群算法、混沌搜索算法建立信号灯配时协同控制数学模型, 通过觅食、聚群、追尾、随机行为得出控制策略, 该方法在处理高维复杂问题时容易陷入局部最优解, 导致无法达到全局最优解, 影响算法的优化效果; 吴兰等[5]利用扩展卡尔曼滤

项目来源: 道路交通安全公安部重点实验室课题项目(2023ZDSYSKFKT12)
收稿日期: 2024-06-04 **修改日期**: 2024-07-25

波、离散交通状态编码预测各路口交通流量,通过强化学习、奖励函数实现交通信号灯配时协同控制,当交通数据存在噪声或不确定性时,导致预测结果不准确,进而影响信号灯配时的控制效果;Jiang 等[6]为了缓解车辆延误,应用相位控制优化模型,确定最佳交叉口信号配时方案,包括信号周期长度和绿、红相位持续时间,该方法无法适应路况的动态变化,需要手动调整来适应实际情况;Chaima 等[7]以减少交通拥堵和路网的交叉时间为目标,利用遗传算法确定信号灯配时协同控制策略。该方法因路口交通多变性,且外部环境干扰较多,交通信息处理过程中易丢失部分信息或者畸变,一定程度上影响信号灯配时协同控制准确性及效率。

为此,提出多传感探测信息反馈下多路口信号灯配时智能控制方法。利用多传感器实时监测路口交通的关键信息,为信号灯配时提供实时、准确的数据支持。通过蜻蜓算法对这些数据进行处理和分析,从而更加科学地、灵活地调整信号灯的配时方案,以适应不同时间段、不同路口的交通需求。

1　多路口交通信号灯配时协同控制

1.1　多传感技术下车辆信息采集

在面对外部因素变化、车流量突然增减等情况下,传统的车辆探测技术无法满足实时、精准地获取交通流量信息的需求,导致信号灯配时困难和道路通行效率下降。然而,引入多传感技术成为解决这一难题的关键途径。多传感技术在多路口信号灯配时智能控制中展现出显著优势。该技术集成了激光、雷达、视频等多种传感器,通过多元化信息采集与交叉验证,实现了交通流量的高精度监测。其快速响应能力和实时性确保系统能即时捕捉交通变化,并迅速调整信号配时方案以应对突发情况[8-9]。面对复杂多变的交通环境,多传感技术的冗余与互补特性有效降低了外界干扰,同时数据融合与智能分析提升了系统对复杂交通状况的适应能力和决策准确性。传感器信号传输示意如图 1 所示。

根据图 1 所示,在传感器信号传输过程中,本研究采用高性能的窄带宽激光发射器,它能够发射出精确控制的脉冲激光信号。这些信号通过先进的声光调制器转换成高度相干的脉冲信号,以确保在传输过程中不受外界干扰。为了增强信号的传输距离和强度,进一步使用了掺饵光纤放大器对信号进行放大,从而有效提高了信号质量。环形器和耦合器在信号传输中起到了关键作用。环形器确保信号的单向传输,避免了信号反射和干扰;而耦合器则负责将信号

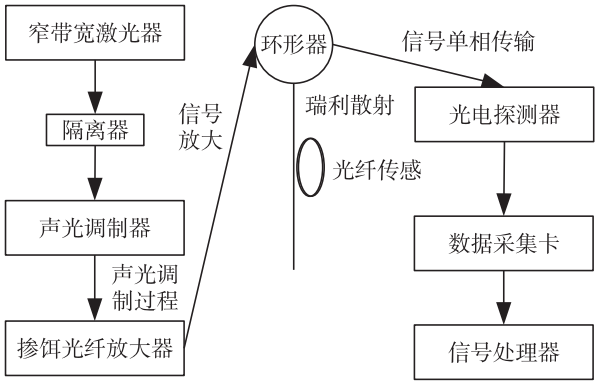


图 1　传感器信号传输示意图

分配到不同的通道中,以实现多路信号的传输和处理。随后,信号进入传感光纤,根据光纤的瑞利散射原理生成后向瑞利散射激光脉冲信号。这些信号通过环形器和尺度为 4×4 的耦合器后,被传送到光电探测器中。现代光电探测器凭借其高灵敏度、快速响应和低噪声等特点,能够准确地捕捉到光纤中的扰动信号,并将其转换为电信号。数据采集卡随后对这些电信号进行数字化处理,并通过高速接口将数据实时传输到信号处理器中。在信号处理器中,本研究根据接收到的信号相位改变信息,提取出与车辆经过相关的信息。通过进一步的分析和处理,能够得出各路口的交通流量信息,为信号灯配时协同控制提供坚实的数据基础。这不仅有助于优化交通流和提高道路通行效率,还能为交通管理部门提供决策支持,实现更加智能和高效的交通管理[10-11]。

1.2　目标函数及约束条件

考虑到外部因素引起的交通流量变化会导致车辆在路口等待时间延长,因此,降低车辆延误时间、停车次数、提升通行能力成为了交通管理的目标。在动态和不确定的交通情况下,优化信号灯配时方案对于降低路口拥堵现象,提高通行效率至关重要。然而,传统车辆传感器只能在有限的范围内监测交通的车辆情况,无法像传感技术那样实现全方位监测,从而导致对交通状况的全面了解不足,影响交通管理者对路口及周边交通情况的全面分析。因此,以设计多传感器为基础,利用获取的车辆流量、车速、车辆类型等信息,将车辆延误时间、通行能力、进入某一路口车辆的平均停车次数作为目标构建目标函数,有助于利用传感技术为交通管理提供更精确的数据支持。

在多路口交通信号灯配时协同控制中,核心目标是以所设计的多传感器获取的实时动态变化的交通流量信息为基础,优化信号灯配时策略,进而减少车辆延误时间、降低停车次数并提升道路通行能力[12]。针对这一目标,设定以下目标函数:

$$F=\min f_1+\max f_2+\min f_3 \tag{1}$$

式中:f_1 表示车辆延误时间函数;f_2 为通行能力函数;f_3 为进入某一路口车辆的平均停车次数。

车辆在路口等待的时间即为延误时间,影响着整体交通系统的通行效率。利用多传感器获取的道路上各车辆流量、速度和密度等信息,结合各路口相位(是指在一个交通信号控制周期内,为不同方向的交通流分配不同的通行时间段的策略)、交通流量、绿信比、流量比及滞留车辆数量等因素,精确计算每辆车的平均延误时间。车辆延误时间计算公式为:

$$t_{ij}^{r}=\frac{C(1-\alpha_a)^2}{2(1-y_{ij}^{r})}+\frac{N_{ij}^{r}x_{ij}^{r}}{q_{ij}^{r}} \tag{2}$$

式中:i、j 表示某路口上任意的两个相位;r 为某一交通路口;q 为采用多传感器采集的路口车流量;C 表示传感探测到的车辆实际通过某一路口所需的周期时长;t 为延误时间;α_a 描述相位 a 的绿信比值;y 为某一相位与任意车道的流量比之和;y_{ij}^{r}、q_{ij}^{r}、x_{ij}^{r}描述多传感器采集到的 i 到 j 的流量比率、交通流量、饱和度;N 表示滞留车辆数量,N_{ij}^{r}为路口 r 的 i 到 j 的滞留车辆数量。求解在时间段 k 上,r 的每辆车辆平均延误时间为:

$$f_1=\bar{t}=\sum_{r=1}^{w}t^{r}q^{r}\left(\sum_{r=1}^{w}q^{r}\right)^{-1} \tag{3}$$

式中:w 为多传感器获取的交通路口总数量。

通行能力是指路口或道路能够承载的车辆数量。利用传感技术实时获取各个路口的车辆流量数据,包括车辆通过的饱和流率及交通流量分布情况,对整体路网的通行能力进行综合评估,得出整体通行能力。通行能力计算过程为:

$$f_2=c=S_{ij}\times\alpha_a=\sum_{j=1}^{n-1}\sum_{i=1}^{n}c_{ij} \tag{4}$$

式中:n 为交通路口相位总量;c 表示车辆通行能力;c_{ij}表示 i 到 j 的车辆通行能力;S_{ij}为 i 到 j 的饱和流率。

车辆在路口停车次数的增加会导致交通拥堵和延误,影响整体交通流畅度。利用多传感器监测不同时间段内的车流情况,精确计算每车辆在不同路口的平均停车次数。在时间段 k 上,i 到 j 的每辆车辆平均停车次数为:

$$f_3=\sum_{r=1}^{w}h_{ij}^{r}q^{r}\left(\sum_{r=1}^{w}q^{r}\right)^{-1} \tag{5}$$

式中:h_{ij}^{r}为停车次数。

针对具有非线性特性的多交通路口的特点,多传感器可以精确监测车辆在路口的停车次数、交通流量等信息。通过综合考虑车辆及信号的初始状态信息以及随时间变化的状态信息,结合实际需求设定交通灯间隔时间、最大间隔和最小间隔等约束条件,可以确保交通信号灯的正常运行,并保障交通安全。约束条件如下所示:

$$\begin{cases}V(0)=V_0,S(0)=S_0\\ V(k+1)=f[V(k),S(k)]\\ \sum_{i}^{m_c-1}\sum_{j}^{m_p-1}(G_{i,j}+G_{\text{int}})<t\leqslant\sum_{i}^{m_c}\sum_{j}^{m_p}(G_{i,j}+G_{\text{int}})\\ G_{\min}\leqslant G_{i,j}\leqslant G_{\max}\end{cases} \tag{6}$$

式中:V_0、S_0 表示车辆及信号的初始状态信息;$V(k)$、$S(k)$描述某一时间点车辆及信号状态信息;$f(\cdot)$为状态函数;m_c、m_p 描述信号相位数及周期数;$G_{i,j}$描述 i 到 j 的时长;G_{int}、$G_{\min}$、$G_{\max}$表示通信灯间隔时间、最小间隔、最大间隔。

1.3 信号灯配时协同控制实现

由于不同时间段和不同路口的交通流量会发生变化,这种动态变化增加了信号灯配时的复杂性。同时,多传感器受光照强度、尘埃污染等外部因素的干扰,容易影响传感器动态采集的精度。蜻蜓算法具有自适应调整能力,能够根据环境变化和问题特性来动态调整搜索策略,有效应对路口间的互动影响和复杂的多目标优化问题。因此,引入蜻蜓算法,结合车辆及信号的初始状态信息以及随时间变化的状态信息,优化所设计多传感器存在的误差问题,通过智能优化算法动态调整信号灯配时方案,从而更好地适应交通情况的变化,提高信号灯控制的效率和稳定性[13]。将实际问题转化为数学优化问题,并利用蜻蜓算法求解。数学描述如下:

①分离行为:蜻蜓算法通过模拟蜻蜓的飞行和觅食行为,不断调整搜索策略和参数,以找到最优解。在交通管理中,意味着算法可以根据多传感器采集到的实时交通数据,如车流量、车速等,动态调整信号灯的配时方案,以最大程度地减少拥堵和延误,使得信号灯配时方案更加符合实际的交通情况,提升交通系统的稳定性。则有:

$$E_{i_1}=\sum_{j_1}^{M}X-X_{j_1} \tag{7}$$

式中:X 描述个体空间位置;X_{j_1}描述个体 i_1 的相邻个体 j_1 的空间位置;M 描述 i_1 的相邻个体数量。

②排队行为:相邻个体的速度保持一致性,在交通控制中,意味着相邻路口的信号灯变化应协调一致,以确保车辆能够平稳通过多个路口,减少不必要的停车和加速。利用蜻蜓算法的自适应调整能力,结合多传感器所得到的数据,根据环境变化和问题特性动态调整搜索策略,有效应对路口间的互动影

响和复杂的多目标优化问题。即:

$$A_{i_1}=\sum_{j_1}^{M}V_{j_1}(M)^{-1} \tag{8}$$

式中:V_{j_1}描述 j_1 的速度。

③结盟行为:每个个体向群体中心聚集,即各个路口的信号灯配时策略应趋向于整体最优解,实现全局交通效率的最大化,则有:

$$H_{i_1}=\sum_{j_1}^{M}X_{j_1}(M)^{-1}-X \tag{9}$$

④觅食行为:当食物出现时,蜻蜓个体向食物方向飞行,这在算法中表现为不断调整信号灯配时策略,以逼近最优的交通控制效果。运算过程为:

$$L_{i_1}=X^{*}-X \tag{10}$$

式中:X^{*}描述食物地点。

⑤躲避天敌行为:种群中每个蜻蜓个体都具有排斥天敌的能力,这意味着算法应能够跳出当前可能并非最佳的配时策略,继续搜索更优方案,即:

$$Q_{i_1}=X_{*}-X \tag{11}$$

式中:X_{*}为天敌地点。

根据蜻蜓以上行为得出其步长 ΔX_{u+1} 数学表达式,即:

$$\begin{aligned}\Delta X_{u+1}=&(w_1E_u+w_2A_u+w_3H_u+\\&w_4L_u+w_5Q_u)+w^{*}\Delta X_u\end{aligned} \tag{12}$$

式中:w_1、w_2、w_3、w_4、w_5 表示蜻蜓五种行为(E、A、H、L、Q)的权重;w^{*}为个体惯性权重;u 为迭代次数。

蜻蜓位置求解分为两种情况:当个体有邻近蜻蜓时,其位置计算如式(13)所示;当个体无邻近蜻蜓时,则其位置计算如式(14)所示。

$$X_{u+1}=X_u+\Delta X_{u+1} \tag{13}$$

$$X_{u+1}=X_u+[1+\text{Lévy}(d)] \tag{14}$$

式中:Lévy 为概率分布函数;d 描述个体的位置向量维数。

由于蜻蜓个体间交流较少,群体种类较少,计算过程中出会出现早熟收敛的情况,一定程度上影响多路口交通信号灯协同控制精度,为此,在蜻蜓算法基础上引入高斯变异相[14-15],从而进一步优化信号灯配时协同控制方案,以增加蜻蜓群体的种类,进而避免陷入局部最优解。结合多传感器的应用,通过蜻蜓算法与高斯变异的结合,实现对信号灯配时协同控制的进一步优化。将多传感器实时采集的交通数据作为信息输入,蜻蜓算法根据这些信息动态调整搜索策略,优化信号灯配时方案。在算法迭代过程中,采用高斯变异相方法使得蜻蜓群体能够保持多样性,避免早熟收敛,从而找到更好的全局最优解。高斯变异通过均值 φ 与方差 σ 调节变异步长 X_u^{*},计算过程为:

$$\begin{cases}X_u^{*}=X_u+s_gM_d(0,1)\\s_g=\text{random}(+,-)\sqrt{2\ln(2\pi)}\end{cases} \tag{15}$$

式中:$M_d(0,1)$描述 $u=0$、$\sigma=1$ 的高斯随机数值,s_g 表示变异步长。

多路口交通信号灯协同控制详细过程为:①初始化:设定蜻蜓群体初始规模为 50 只,一个蜻蜓个体表示多路口交通信号灯协同控制一组解,即交通红灯、绿灯、黄灯配比及其周期的一组解,每只蜻蜓的初始位置和速度在解空间内随机生成。②初始解生成:在解空间中随机生成 100 个初始解,对初始解进行预处理,确保其合理性和可行性。预处理包括检查各信号灯的时间设置、交叉路口的冲突检测等。③参数设定:设置最大迭代次数为 U,初始位置 X_0 及步长向量 ΔX_0 及 w_1、w_2、w_3、w_4、w_5、E、A、H、L、Q 等参数;④将式(1)目标函数 F 作为蜻蜓个体评估函数,求解每个蜻蜓对应的目标值;⑤根据式(12)更新 w_1、w_2、w_3、w_4、w_5、w^{*}、E、A、H、L、Q;⑥更新邻域半径,假设蜻蜓个体存在 1 个以上邻居,则按照式(13)更新 ΔX 与 X;假设没有,按照式(14)更新 ΔX 与 X;⑦终止条件判断,$u=u+1$,$u<U$ 时,回到步骤⑤进行下一轮计算,直到 $u=u+1$,$u=U$ 为止,输出当前最优蜻蜓个体,或者目标函数值收敛,算法停止运行,并输出最优解蜻蜓个体,此个体对应控制策略即为基于多传感器的多路口信号灯配时优化控制方案。

通过传感器实时捕获车辆通过数据,设定了减少车辆延误时间、降低停车次数并提升道路通行能力的目标函数,并考虑了车辆及信号的初始和随时间变化的状态信息,以及信号灯配时的合理性和稳定性约束条件。通过引入蜻蜓算法并结合高斯变异相,能够更有效地解决多路口交通信号灯配时协同控制问题。这种方法不仅提高了控制策略的精度和效率,还有助于减少交通拥堵和提高道路通行能力。

2　实验过程与结果分析

2.1　实验环境

本次实验以某市交通公路为实际应用场景,每个路口配置 GEC-TL-01 型号信号灯,此设备相关参数如表 1 所示。实验过程中,特别引入了传感技术,以实现更为精准和高效的交通数据采集与传输。在路口的各个进口道、出口道、转弯车道以及行人过街区域等关键位置,都安装了相应的模拟传感器设备,以实现对交通流量的全方位、实时监测,传感交通信号采集现场如图 2 所示。

表 1 GEC-TL-01 型号信号灯相关参数介绍

相关参数	参数介绍
额定电压	220 V AC
颜色	红、黄、绿
发光强度	不低于 400 cd
防尘等级	通常达到 IP5X 或以上
工作温度	-40 ℃~70 ℃

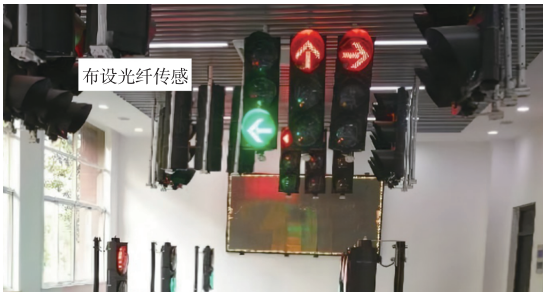


图 2 传感交通信号采集现场图

2.2 传感器硬件与布局

在实验中,采用了高性能的多种类传感器,包括窄带宽激光发射器(DFB 激光器)、PD-12D 光电探测器、光纤耦合器、EDFA-DC 掺饵光纤放大器以及环形器等关键组件,共同构建了一个高精度、高可靠性的信号采集与传输网络。在实验中,DFB 激光器作为光源,为系统提供高质量的激光脉冲信号。在信号接收端,PD-12D 光电探测器负责将后向瑞利散射激光脉冲信号转换为电信号,以供后续处理。在信号传输过程中,光纤耦合器负责将激光信号分配到不同的传感光纤中,实现多路信号的传输和处理。EDFA-DC 掺饵光纤放大器对信号进行放大,确保信号在传输过程中不受外界干扰,提高信号质量。环形器被用于确保激光信号在传感光纤中的单向传输,避免信号反射对系统性能的影响。具体硬件布局与连接如图 3 所示。

实验过程中,DFB 激光器产生的激光脉冲信号经过光纤耦合器分配至不同的传感光纤中。传感光纤中的后向瑞利散射激光脉冲信号通过环形器后被 PD-12D 光电探测器接收并转换为电信号。电信号经过数据采集卡进行数字化处理后,通过高速接口传输至信号处理器进行进一步分析和智能控制。具体传感器参数设置如表 2 所示。

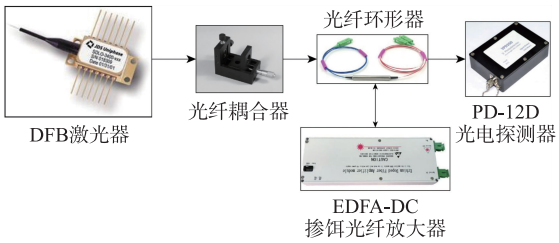


图 3 硬件布局与连接图

表 2 传感器参数设置

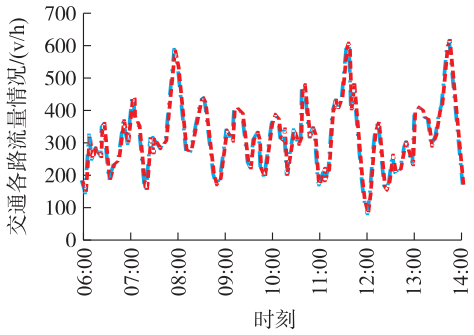
参数名称	设置值
光纤类型	单模光纤
波长	1 550 nm
传输距离	最长可达 10 km
采样频率	100 Hz
精度	±1%以内
工作温度范围	-40 ℃~85 ℃
防护等级	IP67
接口类型	SC/FC/ST 可选

2.3 交通流量预测效果分析

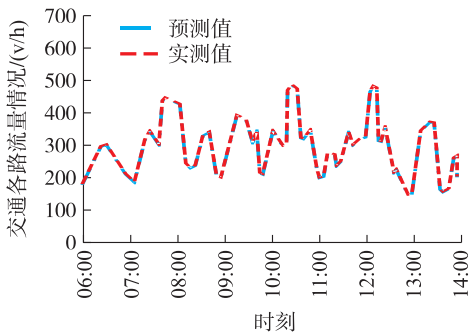
交通流量预测是多路口交通信号灯配时协同控制评估关键指标之一。在智能交通系统中,准确的交通流量预测可以帮助交通管理部门更准确地了解各路口的车辆流动情况,为此将交通流量预测作为多路口交通信号灯配时协同控制评估指标。

实验随机选取 2 个路口作为研究对象,采用传感技术预测 2023 年 8 月 21 号 6:00—14:00 时间段各路口交通流量情况,结果见图 4。

根据图 4 可知,由于采用传感技术,从整体上看各个路口交通流量预测结果精度极高,这是因为传感器和数据处理设备均采用了高质量的电磁屏蔽材料,如金属屏蔽罩,以有效隔离外部电磁场的干扰,可在各种环境条件下稳定工作。为此,在路口 1 与路口 2 交通流量预测中,只有 07:00、12:00 时间段结果与实



(a) 路口1



(b) 路口2

图 4 交通各路流量情况

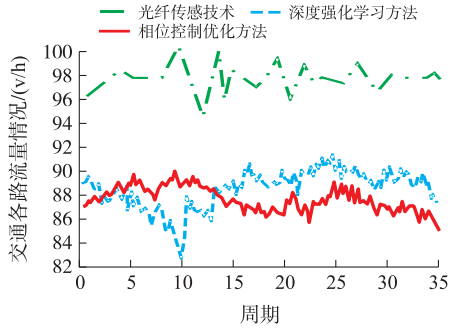
际值存在一点偏差,误差最大值仅为 3 v/h,而这两个时间段正处于交通通行高峰期,此阶段车辆多,流量预测结果在 5 v/h 均属于正常。

2.4　多路口交通信号灯配时协同控制性能分析

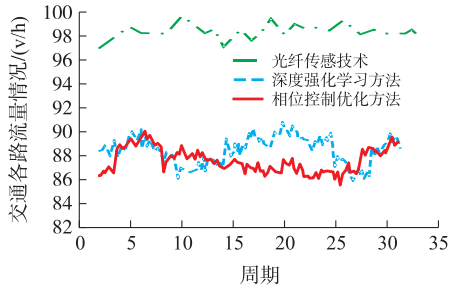
①通行效率

通行效率是评估多路口交通信号灯协同控制关键指标之一,值越大,说明此路口通行能力越强,交通信号灯协同控制效果越好。

实验环境不变,将文献[5]深度强化学习方法、文献[6]相位控制优化方法作为对比方法,利用传感技术与对比方法分别对这两个路口交通信号灯配时进行协同控制,对比控制后各交通路口的通行效率,结果如图 5 所示。



(a) 路口1



(b) 路口2

图 5　各方法的通行效率分析

根据图 5 可知,传感技术各路口通行效率均大于深度强化学习方法、相位控制优化方法,在两个不同交通路口的通行效率均高达 94%以上,这是因为其利用蜻蜓算法,通过五种集群行为找出全局最优信号灯协同控制方案,有效保证各路口交通通行效率。

②车辆排队长度

车辆排队长度是指在交通路口上,因交通拥堵或其他原因,车辆在等待通行时所形成的队列的长度。这个长度可以从信号交叉口停车线开始计算,一直到排队车辆队列的末尾。长度越长,表明交通信号灯协同控制效果越不理想。实验随机选取 4 个交通路口,采用三种方法对各路口交通信号灯配时进行协同控制,分析路口车辆排队长度情况,结果如表 3 所示。

表 3　各路口车辆排队长度情况/m

路口序号	传感技术	深度强化学习方法	相位控制优化方法
1	—	4.99	5.37
2	1.20 m	5.38	6.87
3	—	13.44	13.80
4	1.20 m	8.91	14.36

通过表 3 数据结果可知,本文提出的传感技术下的路口 1 与路口 3 没有车辆排队长度,表明这两个路口处于畅通状态,过往车辆可直接通行,无需等待。这充分显示了信号灯配时协同控制的效果。表中的 1.20 m 表示的并不是典型意义上的车辆排队长度,而是传感器感应的最小触发距离。在路口 2 与路口 4 的情况下,这表明传感器感应到的排队长度在 1.20 m 以内,实际上可以认为没有明显排队现象。与深度强化学习方法和相位控制优化方法相比,车辆排队长度均显著减少。所提方法通过高斯变异模型修正权重等参数,获取信号灯配时协同控制全局最优方案。这一步骤允许系统根据实时交通状况,动态地调整信号灯配时的参数,确保每个路口的配时都尽可能接近最优状态。这不仅能够减少车辆延误和停车次数,还能最大化道路的通行能力。

3　结论

为了有效缓解城市道路交通拥堵,提高道路网络的通行效率和安全性,本研究提出了一种多传感探测信息反馈下多路口信号灯配时智能控制方法。该方法通过集成多种传感器实时采集各交通路口的车速、车辆类型及数量等关键信息,为信号灯配时控制提供了全面而准确的数据支持。创新性地采用了蜻蜓算法和高斯变异法来构建信号灯配时协同控制模型。蜻蜓算法通过模拟蜻蜓的分离、排队、结盟、觅食和躲避等自然行为,实现了对信号灯配时参数的智能寻优。同时,结合高斯变异法,对算法中的关键参数进行动态调整,进一步提高了算法的搜索效率和优化质量。通过实验分析,验证了所提方法的有效性和可靠性。实验结果表明,在多种交通场景下,该方法均能准确地预测交通流量,并实时调整信号灯配时方案,使得车辆延误时间、平均停车次数显著减少,通行能力得到显著提升。

综上所述,本研究提出的多传感探测信息反馈下多路口信号灯配时智能控制方法,不仅提高了道路网络的通行效率和安全性,还有效促进了城市的可持续发展。该方法在智能交通系统领域具有广阔的应用前景,为城市交通管理提供了新的思路和技术支持。

参考文献:

[1] 曾微波,陈夏微,童矿,等. 红绿灯配时优化与仿真研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2022,47(4):597-603.

[2] 马成元,朱际宸,赖金涛,等. 基于群体决策的多交叉口协同控制方法[J]. 交通运输工程学报,2022,22(3):152-161.

[3] 郑晔,郭仁忠,马丁,等. 面向地理路网的交通信号智能协同控制方法[J]. 测绘学报,2021,50(9):1203-1210.

[4] 吴啸宇,李慧慧,林娟娟,等. 基于人工鱼群算法的交通信号灯配时优化模型[J]. 南京理工大学学报,2022,46(1):40-47.

[5] 吴兰,吴元明,孔凡士,等. 基于深度强化学习与扩展卡尔曼滤波相结合的交通信号灯配时方法[J]. 北京航空航天大学学报,2022,48(8):1353-1363.

[6] Jiang Z T, Yu D X, Luan S L, et al. Integrating Traffic Signal Optimization with Vehicle Microscopic Control to Reduce Energy Consumption in a Connected and Automated Vehicles Environment[J]. Journal of Cleaner Production,2022,371:133694.

[7] Chaima K, Rochdi B B, Faiza M. Traffic Signal Timing Optimisation for Several Intersections in High-Priority Congested Networks Improved on Genetic Algorithm[J]. International Journal of Organizational and Collective Intelligence,2022,12(1):441-454.

[8] Matveenko V, Serovaev G, Kosheleva N, et al. Numerical and Experimental Analysis of the Reliability of Strain Measured by Surface-Mounted Fiber-Optic Sensors Based on Bragg Gratings[J]. Structural Control and Health Monitoring,2022,29(12):e3142.

[9] Lin Q, Chen J, Li G, et al. Signal Timing Parameters Inference Method at Intersections Using License Plate Recognition Data[J]. IET Intelligent Transport Systems,2022,16(8):1092-1107.

[10] 刘显明,任怡霖,周峰,等. 面向高速动态测量的光纤光栅传感信号解调技术研究进展[J]. 中国激光,2023,50(10):9-34.

[11] 张宇阳,路元刚,彭楗钦. 布里渊光时域传感中的快速测量技术[J]. 半导体光电,2022,43(4):625-641.

[12] 宋国治,苏鹏博,刘畅,等. 基于 Q 学习的智能交通信号灯优化[J]. 郑州大学学报(理学版),2022,54(5):57-63.

[13] 樊星男. 蜻蜓寻优算法在轴承故障模糊识别中的应用[J]. 机械设计与制造,2023(5):31-36.

[14] 杨洋,栗风永. 基于高斯变异粒子群优化的短期负荷预测[J]. 计算机仿真,2023,40(1):125-130.

[15] 魏超,韦修喜,黄华娟. 基于混沌初始化和高斯变异的鸽群算法[J]. 计算机工程与设计,2023,44(4):1112-1121.

郭丽东(1987—),男,汉族,山西左权人,硕士,讲师,系教学科研科科长。山西警察学院“双师型”教师;山西警察学院优秀教师、优秀共产党员;学院“中青年学术骨干”,学院优秀科技工作者;研究方向:道路交通安全管理、道路交通执法技术,主讲课程:道路交通管理概论、道路交通控制、工程制图、公安技术概论等课程。主要教科研成果:主持、参与省部级以上科研、教研项目 20 项,发表论文 10 余篇,其中 EI 源刊 1 篇,出版专著 1 部,拥有实用型发明专利 1 项;参编教材 2 部;负责省级一流课程 1 门,guolidongls@163.com。