

# 基于卷积神经网络的智能交通信号控制研究

王丽君<sup>1</sup>, 史二娜<sup>2</sup>

(1. 陕西国际商贸学院, 陕西 咸阳 712046; 2. 西安交通工程学院, 西安 710300)

**摘要:** 为提高智能交通信号在实际应用中的效率, 提出一种改进的控制方法, 将交通信号图像输入卷积神经网络的输入层, 通过卷积层与采样层的卷积计算、残差计算以及梯度计算识别交通信号, 将识别交通信号结果选取自适应跳跃式信号控制方法实现智能交通信号控制, 用双层管道模型表示智能交通信号控制区域车辆流动情况, 通过内外层管道路侧单元获取车辆通行信息, 利用车辆权重之和及影响绿灯时间分配车辆数量实现智能交通信号控制。实验结果表明, 文中方法可有效控制交通信号, 不同时段车辆通过率均高于 25%, 获得了理想的交通信号控制结果。

**关键词:** 卷积神经网络; 智能交通; 信号控制; 采样层

**中图分类号:** TP273 **文献标识码:** A

## Intelligent traffic signal control based on convolutional neural network

WANG Li-jun<sup>1</sup>, SHI Er-na<sup>2</sup>

(1. Shaanxi Institute of International Trade & Commerce Xianyang 712046 Shaanxi Province, China;

2. Xi'an Traffic Engineering Institute Xi'an 710300, China)

**Abstract:** In order to improve the efficiency of intelligent traffic signal in practical application, an improved control method is presented. Intelligent traffic signal control is researched based on convolutional neural network input the traffic signal image to the input layer of the convolutional neural network, the traffic signal is identified through the convolution calculation, residual calculation and gradient calculation of the convolution layer and the sampling layer. The identified Traffic signal results select adaptive jump-type signal control method to achieve intelligent traffic signal control. A double-layer pipe model is used to represent vehicle flow in the area controlled by intelligent traffic signals. Vehicle traffic information is obtained through the inner and outer layer road side units. The sum of vehicle weight and affect the green light time allocation of the number of vehicles are used to achieve intelligent traffic signal control. The experimental results show that the method can effectively control traffic signals, and the vehicle passing rate in different periods is higher than 25%, which has better control effect.

**Key words:** convolution neural network; intelligence traffic; signal control; sampling layer

## 0 引言

随着我国经济不断发展, 众多家庭选择私家车作为代步工具, 交通问题已成为目前急需解决的问题。人们对安全问题不断重视, 将智能交通系统应用于交通监管中, 并取得一定成效<sup>[1]</sup>。智能交通信号控制可有效控制交通车流量, 降低由于车辆造成的二氧化碳排放, 保证汽车安全出行同时有效维持

生态环境。复杂的室外交通环境会降低智能交通信号控制效率, 大量研究学者提出以上问题解决策略。近年来我国车辆直线增长带来大量安全隐患<sup>[2]</sup>, 过

收稿日期: 2020-03-10

基金项目: 陕西省教育厅专项科学研究(18JK1041); 物联网与智能技术科技创新团队建设项目(SSY18TD05)

作者简介: 王丽君(1982-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为信号处理、光电子。

多车辆增加汽车安全事故率,汽车数量增加令汽车尾气排放问题严重,智能交通信号控制可减少由于车辆拥堵造成的环境污染,解决交通拥堵问题,提升交通安全<sup>[3]</sup>。

为了改善智能交通信号控制效果,设计了基于卷积神经网络的智能交通信号控制方法,通过卷积神经网络方法识别交通信号,利用所识别交通信号实现智能交通信号控制,降低通行车辆平均等待时间和停车数量,同时减少车辆由于等待交通信号形成的二氧化碳排放量,具有环保节能效果。

## 1 卷积神经网络的智能交通信号控制方法

### 1.1 交通信号识别

卷积神经网络包括输入层、卷积层和采样层。输入层为交通信号图像,输入图像后,利用首层卷积C1,通过大小为 $5 \times 5$ 的8个滤波器获取8个特征映射图,其中每个特征映射图大小均为44;卷积后利用采样层S2,通过大小为 $2 \times 2$ 的采样核获取8个大小为22的特征图,通过第二层卷积C3获取14个特征图,利用大小为 $3 \times 3$ 的卷积核获取14个大小为20的特征图;第二层卷积后利用大小为 $2 \times 2$ 的采样核形成14个大小为10特征图,将以上特征图聚集后与C5层中全部神经元连接,连接后通过最后一层分类器,选取全连接形式将交通信号识别结果输出<sup>[4]</sup>。通过以上过程实现卷积神经网络的交通信号识别。

卷积神经网络通过反向传播算法实现训练,输入交通信号数据后,完成前向计算后反向计算误差<sup>[5]</sup>,针对误差获取不同权值和偏置偏导数,通过获取偏导数修正偏差和权值。卷积神经网络中全部权值需通过差异随机数据初始化<sup>[6]</sup>,为避免卷积神经网络由于权值过大造成过饱和,随机数量应尽量小避免训练失败。卷积神经网络训练过程如下。

Step 1: 向前传播。

①从交通信号样本中随机选取若干数量输入卷积神经网络中;

②利用前向算法获取与样本相对应的实际输出信号类别。

Step 2: 向后传播。

①将获取的实际交通信号类别与真实交通信号类别比较<sup>[7]</sup>,获取比较后的偏差;

②依据极小化误差方法通过反向传播修正权矩阵。卷积层计算公式推导如下:

用 $l$ 与 $l+1$ 分别表示卷积神经网络的卷积层以

及下采样层,可得第 $j$ 个特征图 $y_j^l$ 在 $l$ 层公式为:

$$y_j^l = f(\sum_{i \in M_j} y_i^{l-1} * h_{ij}^l + c_j^l) \quad (1)$$

式中, $y_j^l$ 与 $M_j$ 分别为第 $l$ 层卷积层的第 $j$ 个特征图以及被选择的输入图集合,\*表示第 $l+1$ 层卷积核 $h$ 全部关联特征图实施卷积运算<sup>[8]</sup>。

卷积运算后求和,将偏置参数 $c$ 加入运算中,通过激活函数 $f()$ 获取最终激励值。残差计算过程如下:

卷积神经网络中下采样层位于卷积层下一层,通过一对一非重叠采样实现残差计算<sup>[9]</sup>,可得第 $j$ 个特征图 $y_j^l$ 在 $l$ 层残差公式为:

$$\delta_j^l = \lambda_j^{l+1}(f'(u_j^l) \circ up(\delta_j^{l+1})) \quad (2)$$

第 $l+1$ 层的大小通过 $up(x)$ 扩展至 $l$ 层相同大小; $\lambda$ 表示卷积神经网络中下采样层内权重; $f'(\cdot)$ 为激活函数 $f()$ 的偏导数;梯度计算步骤如下:

偏置参数 $c$ 的导数如下:

$$\frac{\partial E}{\partial c_j} = \sum_{u \in p} (\delta_j^l)_{uw} \quad (3)$$

参数 $k$ 导数如下:

$$\frac{\partial E}{\partial h_{ij}^l} = \sum_{u \in p} (\delta_j^l)_{uw} (p_i^{l-1})_{uw} \quad (4)$$

式中, $h_{ij}^l$ 为第 $l$ 层卷积层的第 $j$ 个特征图和第 $l-1$ 层卷积层的第 $i$ 个特征图连接获取的核; $(p_i^{l-1})_{uw}$ 为 $y_i^{l-1}$ 内的区域块。

采样层计算过程如下:

Step 1: 卷积计算。卷积神经网络中采样过程为一对一采样,则采样大小为 $2 \times 2$ 的计算公式如下:

$$y_j^l = f(\lambda_j^l down(y_j^{l-1}) + c_j^l) \quad (5)$$

式中,上层卷积层大小为 $2 \times 2$ 的像素值通过 $down(x)$ 求和。

Step 2: 残差计算。下采样梯度计算过程中,通过残差图内已知像素与上层残差图内区域,可有效反向传播残差。残差计算过程中需要将连接输出像素与输入区域块权值相乘<sup>[10]</sup>,其中卷积核权值即所需相乘权值。残差计算过程利用MATLAB 2017函数表示如下:

$$\delta_j^l = f'(u_j^l) \circ conv2(\delta_j^{l+1}, rot180(h_{ij}^{l+1}), 'full') \quad (6)$$

Step 3: 梯度计算。将 $c$ 的导数偏置,采样层梯度计算过程与卷积层梯度计算公式相同,权重 $\lambda$ 导数公式为:

$$d_j^l = down(y_j^{l-1}) \quad (7)$$

$$\frac{\partial E}{\partial \lambda_j} = \sum_{u \in p} (\delta_j^l \circ d_j^l)_{uw} \quad (8)$$

通过以上计算过程利用卷积神经网络有效识别交通信号。

## 1.2 交通信号控制

交通信号中绿灯时间分配是指转移绿灯时间控制权。智能交通信号控制方法中相位获取绿灯时间控制权后,依据目前相位车流量分配绿灯时间<sup>[11]</sup>,绿灯时间分配结束后,绿灯时间控制权转移至其它相位。不同类型的车辆运行过程中存在较大差异,不仅需要考虑到车辆数量对绿灯时间需求,更需要考虑不同车辆类型对绿灯时间需求影响。依据道路交通实际情况,将车辆分为小、中、大三种类型,用影响权重 $Q_x$ 、 $Q_y$ 、 $Q_z$ 分别表示三种类型车辆,且满足 $0 < Q_x < Q_y < Q_z$ ,选取小型车辆权重作为标准影响权重,不同类型车辆权重相加即可获取影响绿灯时间分配权重情况<sup>[12]</sup>。通过其中一个相位时接近交叉路口车辆数作为跳跃式控制依据。

采用跳跃式交通信号控制方法时,车流量较小时不考虑该相位绿灯时间分配可能造成车辆无法通过路口情况。为提升车辆通过公平性以及交通信号中绿灯使用频率,设某相位中具有车辆并跳过绿灯分配时间情况为 $k$ ,当 $k$ 大于设置正整数 $a$ 时,分配最短绿灯时间至该相位,令路口等候车辆以最快时间通过路口。

交通信号控制过程中,时间分配受右转车流影响可忽略不计。设 $M_{outer}$ 为目前控制相位不计右转车流时间分配车辆总数,用 $Q_i$ 表示单独车辆影响权重,且满足 $Q_i > 0$ ,可得车辆权重之和 $Q_{sum}$ 公式如下:

$$Q_{sum} = \sum_{i=1}^{M_{outer}} Q_i \quad (9)$$

式中 $Q_i$ 可取值 $Q_x$ 、 $Q_y$ 、 $Q_z$ 。

用双层管道模型表示智能交通信号控制区域车辆流动情况<sup>[13]</sup>,用 $Q_i$ 与 $M_i$ 分别表示智能交通信号控制外层管道的权重阈值以及内层管道数量阈值,智能交通信号控制绿灯通行时间分配过程如下:

Step 1: 外层管道驶入车辆 $i$ 后,将驶入消息 $EM_i$ 发送至路侧单元 $RSU_1$ ,该车辆由外层管道驶入内层管道时,发送驶入消息 $EM_i$ 至路侧单元 $RSU_2$ ,该车辆离开管道范围后,发送离开消息 $LM_i$ 至路侧单元 $RSU_3$ ;

Step 2: 外层管道车辆通行信息数据通过路侧单元 $RSU_1$ 与 $RSU_3$ 管理,目前相位绿灯时间分配受外层管道内不同类型车辆影响的总权重 $Q_{sum}$ 发送至智能交通信号控制;内层管道的车辆通行信息数据通过路侧单元 $RSU_2$ 与 $RSU_3$ 管理,目前相位绿灯时间分配受内层管道内不同车辆数量影响的 $M_{outer}$ 发送至交通信号控制;

Step 3: 交通信号控制方法判断目前相位车道

是否具备绿灯时间控制权力<sup>[14]</sup>,具备时转至下一步;不具备转回步骤1重新开始;

Step 4: 智能交通控制方法将权重阈值 $Q_i$ 与影响外层管道绿灯时间分配总权重 $Q_{sum}$ 对比,当 $Q_{sum} > Q_i$ 时,表明目前交通情况比较拥挤,转至下一步,否则转至步骤7;

Step 5: 分配绿灯通行时间至当前相位,再次将目前相位权重阈值 $Q_i$ 与外层管道内影响绿灯时间分配总权重 $Q_{sum}$ 对比,当 $Q_{sum} > Q_i$ 时,表明目前交通情况仍然比较拥挤,转至下一步,否则转至步骤9;

Step 6: 将目前相位最长绿灯时间 $T_{maxG}$ 与最短绿灯时间 $T_{minG}$ 之差与绿灯持续时间 $T_G$ 对比,当 $T_G > T_{maxG} - T_{minG}$ 时,转至步骤9,否则转回上一步重新计算;

Step 7: 比较数量阈值 $M_i$ 与内层管道内影响绿灯时间分配的车辆数量 $M_{inner}$ ,当 $M_{inner} > M_i$ 时,转至步骤9,否则转至下一步;

Step 8: 统计绿灯分配时间跳过内层管道存在车辆次数 $k$ 是否满足 $k > a$ ,满足时转至下一步;否则直接跳至步骤10;

Step 9: 分配最短绿灯时间 $T_{minG}$ 至目前相位车流量;

Step 10: 目前相位绿灯时间控制权转移至下一相位,结束控制。

双层管道模型是利用路侧单元处理交通道路过往车辆相关信息的模型,智能交通信号控制方法通过此模型信息分配最优绿灯通行时间至各相位。通过内外层管道路侧单元RSU获取车辆通行信息,利用车辆权重之和 $Q_{sum}$ 和影响绿灯时间分配的车辆数量 $M_{inner}$ 实现智能交通信号控制。

$Q_{sum}$ 依据“按需分配”原则分配最优绿灯通行时间至各相位,提升绿灯使用效率,当 $M_{inner}$ 足够小时,该相位的绿灯分配时间可不计,设置当前的绿灯控制权分配至下一相位。跳跃式控制有可能造成相位车辆无法通过路口情况<sup>[15]</sup>,利用阈值 $a$ 与内层管道存在车辆并被跳过绿灯分配时间次数 $k$ 对比,通过对比结果为采用跳跃式控制而无法通过路口的车辆分配最短绿灯时间,提升控制性能。

## 2 实验结果与分析

为检测本文研究基于卷积神经网络的智能交通信号控制方法控制交通信号有效性,利用Veins开源车辆网络仿真软件作为实验平台,选取上海市徐汇区南丹东路与漕溪北路交叉路口实际道路数据作为仿真实验数据,该交叉路口车流量变化明显,选取2019年7月5日该路口实际交通流量作为实验数据。利用Veins3.0软件构建城市交通环境,城市交

通环境实验参数如表 1 所示。

表 1 城市交通环境仿真参数

参数名称	参数取值
仿真时间	24h
外层管道长度	300m
内层管道长度	100m
最短路灯时间	12s
最长路灯时间	55s
车辆安全间距	1.8m
车辆最高时速	55km/h
车辆提速加速度	2.5m/s <sup>2</sup>
车辆刹车加速度	4.2m/s <sup>2</sup>
司机反应时间	0.8-1.8s

通过 Veins 3.0 软件获取仿真路口实际交通流量结果如图 1 所示。通过图 1 实验结果可以看出,该仿真路口在凌晨与深夜车流量较少,而白天尤其是中午车流量明显增加,结果表明实验所设置仿真环境可真实有效模拟该路口交通需求。

在仿真平台中编程本文方法,采用本文方法控制

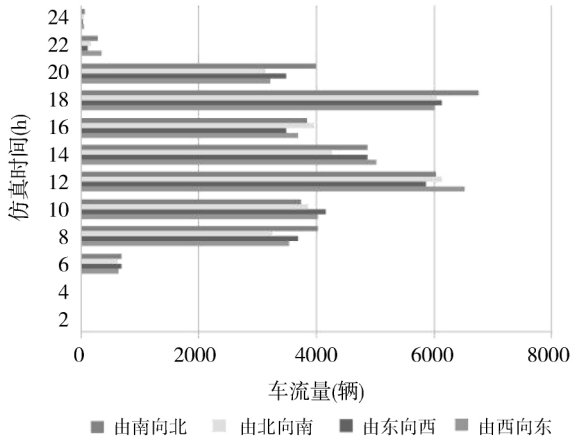


图 1 实际交通流量

智能交通信号,统计采用本文方法控制该交通路口车辆平均到达率,统计结果如表 2 所示。通过表 2 实验结果可以看出,采用本文方法智能控制交通信号,不同时段车辆通过率均高于 25%,由于夜间车流量较少,车辆通过率明显提升;白天交通路口车流量较高,但是采用本文方法控制交通信号仍可保持较高通过率,有效验证本文方法的交通信号控制效果。

表 2 各交叉口进口路口的车辆平均到达率

仿真时间/h	南北直行/%	北南直行/%	南北左转/%	北南左转/%	东西直行/%	西东直行/%	东西左转/%	西东左转/%
2	62	72	68	64	59	62	61	58
4	58	52	54	58	52	51	53	55
6	28	34	41	38	36	35	34	32
8	24	28	32	32	29	28	27	31
10	29	26	28	35	31	32	35	34
12	34	27	26	32	28	27	25	27
14	31	28	27	31	26	28	27	26
16	35	31	32	29	29	31	32	33
18	38	35	34	25	26	27	29	31
20	34	34	32	28	32	34	36	38
22	38	51	58	45	51	52	49	48
24	61	59	62	59	58	57	56	59

统计采用本文方法智能控制交通信号车辆平均延误情况,并将本文方法与 PSO 方法以及感应式控制方法对比,对比结果如图 2 所示。

通过图 2 实验结果可以看出,采用本文方法智能控制交通信号,车辆最高平均延误低于 20s,而 PSO 方法以及感应式控制方法控制交通信号平均延误时间在仿真时间为 12h 时高达 23s。采用本文方法智能控制交通信号的车辆平均延误明显低于 PSO 方法以及感应式控制方法,说明本文方法可有效依据车流量控制交通信号,具有较优的交通信号控制效果。

统计采用本文方法智能控制交通信号各路口车

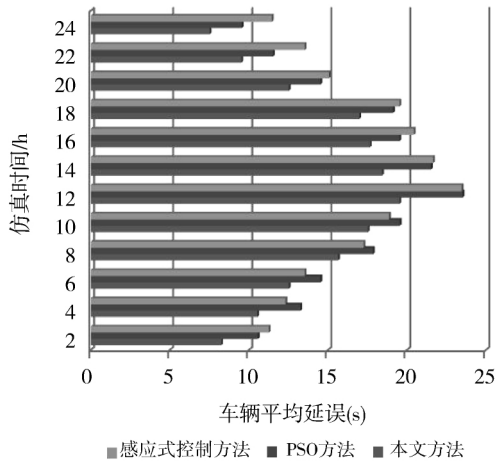


图 2 不同方法车辆平均延误对比

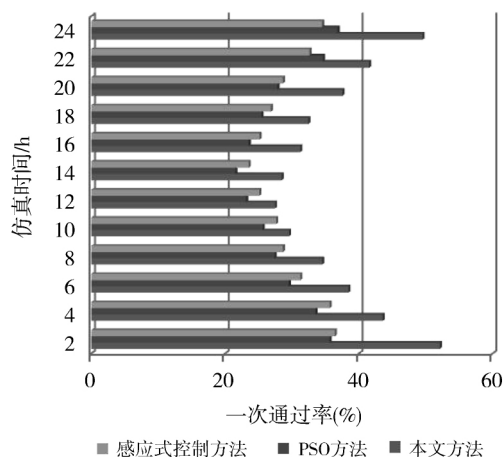


图3 不同方法车辆一次通过率对比

辆一次通过率,并将本文方法与 PSO 方法以及感应式控制方法对比,对比结果如图 3 所示。

通过图 3 实验结果可以看出,采用本文方法智能控制交通信号,车辆一次通过率明显高于 PSO 方法以及感应式控制方法,尤其是凌晨 2 时,采用本文方法智能控制交通信号的一次通过率达 52.13%,验证采用本文方法智能控制交通信号可有效提升车辆一次通过率,再次验证本文方法的控制效果。

### 3 结束语

交通问题是目前与人们生活密切相关的重要问题,车辆二氧化碳排放对生态环境影响极大,车辆数量增加存在大量安全隐患。研究基于卷积神经网络的智能交通信号控制,将卷积神经网络应用于智能交通信号控制中,实现交通信号智能控制。选取 Veins 开源车辆网络仿真软件作为实验平台,通过仿真实验验证该方法智能控制交通信号有效性,采用该方法智能控制交通信号可有效提升车辆一次

通过率,该方法可应用于实际智能交通控制中。

### 参考文献:

- [1] 樊玉琦,温鹏飞,许雄,等.基于卷积神经网络的雷达目标航迹识别研究[J].强激光与粒子束,2019,31(9):68-73.
- [2] 陈春玲,杨雪,周云成,等.基于卷积神经网络的绝缘子目标识别方法研究[J].沈阳农业大学学报,2019,50(4):501-506.
- [3] 陈景霞,王丽艳,贾小云,等.基于深度卷积神经网络的脑电信号情感识别[J].计算机工程与应用,2019,55(18):103-110.
- [4] 刘赢,田润澜,王晓峰.基于深层卷积神经网络和双谱特征的雷达信号识别方法[J].系统工程与电子技术,2019,41(9):1998-2005.
- [5] 范存航,刘斌,陶建华,等.一种基于卷积神经网络的端到端语音分离方法[J].信号处理,2019,35(4):542-548.
- [6] 姜凡旭,傅洪亮,陶华伟,等.一种基于卷积神经网络特征表征的语音情感识别方法[J].电子器件,2019,42(4):998-1001.
- [7] 方宇恒,徐中伟,彭聪.信息物理融合系统环境下轨道交通信号安全控制规划研究[J].城市轨道交通研究,2018,21(4):25-30,39.
- [8] 崔洪军,朱敏清,邢江柯,等.信号交叉口车路协同诱导策略下 ACC 车辆控制模式研究[J].公路交通科技,2019,36(6):86-93.
- [9] 李雅妮,肖鹏,崔桂梅.基于 ADHDP 的分布式交通信号实时优化控制[J].电气传动,2019,49(7):73-77.
- [10] 汤旻安,董海龙,程海鹏.基于人工鱼群的五岔路口交通信号优化控制[J].控制工程,2019,26(7):1284-1290.
- [11] 石敏,孙科,毛天露,等.面向智能交通系统的仿真路网快速建模方法[J].图学学报,2019,40(3):489-496.
- [12] 刘小明,唐少虎,朱凤华,等.基于 MFD 的城市区域过饱和和交通信号优化控制[J].自动化学报,2017,43(7):1220-1233.
- [13] 赵文天,万夕里,白光伟.城市交通流量预测与信号控制优化[J].小型微型计算机系统,2019,40(7):1579-1584.
- [14] 杨曦,黄青青,刘志.基于分层控制结构的迭代学习城市交通信号控制[J].浙江工业大学学报,2019,47(3):305-311.
- [15] 钟章队,黄靖茹,李斌,等.智能通号技术在城市轨道交通中的应用[J].都市快轨交通,2019,32(3):5-12. 责任编辑:丁玥

(上接第 55 页)

- [6] 严川,禹梅,刘宇.基于二阶邻居信息的高阶多智能体系统的一致性[J].系统科学与数学,2015,35(3):327-341.
- [7] 刘晨,刘磊.基于事件触发策略的多智能体系统的最优主-从一致性分析[J].应用数学和力学,2019,40(11):1278-1288.
- [8] 龚春霞,贾星蓓,李恒.基于多智能体的微电网中分布式发电的市场博弈竞标发电[J].电网技术,2016(2):579-586.
- [9] 张俊玮,蔡雨宏,张秋雁,等.基于 4G 的农电台区设备智能监控系统设计与实现[J].价值工程,2019,38(34):136-137.

- [10] 刘博,柯德平,李鹏,等.低压配电台区分布式光伏发电功率辨识方法[J].电力系统自动化,2019,43(19):111-117,123.
- [11] 王春衡,韩笑,罗维真.基于负荷预测的配电台区三相不平衡治理研究[J].电气技术,2019,20(9):10-13,38.
- [12] 黄仁金,熊莹,欧家祥,等.针对综合节能目标的配电台区电压优化控制方法[J].国外电子测量技术,2019,38(9):22-27.

责任编辑:丁晓清