

基于AnyLogic的交通枢纽交叉口渠化设计及红绿灯控制优化

吴小花, 孙军艳, 白锦佳, 姜浩, 张润泽

陕西科技大学机电工程学院, 陕西 西安

收稿日期: 2021年9月8日; 录用日期: 2021年10月4日; 发布日期: 2021年10月11日

摘要

本课题以交通枢纽为研究对象, 利用AnyLogic平台对动态交通流系统进行仿真优化。该仿真模型以最大化改善道路拥堵为目的, 设计以车流量最大为目标的优化模型, 通过对道路渠化重新设计, 并运用遗传算法优化交叉路口红绿灯时长, 以平均时间和车辆总数为指标来评价优化方案。仿真表明: 优化后, 环岛交叉口交通通行量提高了58%。道路渠化设计和红绿灯的控制优化可以有效提高交通通行量, 为整治和改善交通环境提供理论依据。

关键词

车流量, AnyLogic仿真, 道路渠化设计, 智能交通灯

Channelization Design and Traffic Light Control Optimization of Traffic Hub Intersections Based on AnyLogic

Xiaohua Wu, Junyan Sun, Jinjia Bai, Hao Jiang, Runze Zhang

College of Mechanical & Electrical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an Shaanxi

Received: Sep. 8th, 2021; accepted: Oct. 4th, 2021; published: Oct. 11th, 2021

Abstract

This paper takes the traffic hub as the research object and uses the AnyLogic platform to simulate

文章引用: 吴小花, 孙军艳, 白锦佳, 姜浩, 张润泽. 基于 Anylogic 的交通枢纽交叉口渠化设计及红绿灯控制优化[J]. 计算机科学与应用, 2021, 11(10): 2428-2438. DOI: 10.12677/csa.2021.1110248

and optimize the dynamic traffic flow system. In order to maximize the improvement of road congestion, the simulation model designed an optimization model with the maximum traffic flow as the goal. Through the redesign of road channelization, the genetic algorithm was used to optimize the traffic light duration at intersections. The optimization scheme was evaluated by the average time and the total number of vehicles as indexes. Simulation results show that after optimization, the traffic at the roundabout intersection increases by 58%. The road channelization design and traffic light control optimization can effectively increase the traffic volume and provide a theoretical basis for remediation and improvement of traffic environment.

Keywords

Traffic Flow, AnyLogic Simulation, Road Channelization Design, Intelligent Traffic Light

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着经济的持续快速发展，交通需求也随之增加，无论是城市道路还是高速公路均处于高负荷运行状态，轻微的扰动都有可能诱发交通堵塞[1]，对日常出行造成严重影响。目前国外许多国家都有自己独特的交通控制系统方法，如澳大利亚的 A. G. Sims 设计的 SCAT 系统[2]，英国的 TRNASY 系统等。

目前，我国城市道路的路口控制重点采用点控和线控方式[3]，即对单交叉路口及干线进行控制的方式。但一些重要的交通枢纽，如西安钟楼，其特有的环形交通结构、错综复杂的道路以及车辆密集等特点，使其容易在车辆高峰时期出现车辆排队时间过长、车辆不驶入交叉口便提前掉头等情况，导致出现交通堵塞现象。本课题以 AnyLogic 为仿真平台，将仿真与智能算法相结合，通过对环形道路渠化重新设计，并利用遗传算法优化交通枢纽红绿灯时长，对复杂的交通控制系统进行改善与优化。

2. 基于 AnyLogic 的仿真模型的建立

2.1. 调研数据统计及仿真模型的建立

2.1.1. 调研数据统计

本文以西安钟楼、新城广场及附近交通枢纽为研究对象，对钟楼和新城广场附近路口的车流量进行了调研。交通地图如图 1 所示，调研数据统计如表 1 和表 2 所示。

Table 1. Traffic flow data of clock tower intersection (unit: vehicle)

表 1. 钟楼十字路口车流量数据表(单位: 辆)

时间段	Y2'	东北方向	北西方向	西南方向	南东方向
平峰 10:00~11:00	785	565	538	475	456
低峰期 14:00~17:00	496	326	264	362	264
高峰期 11:00~12:00	1965	879	965	856	951
18:00~20:00	1865	789	887	856	795

Table 2. Traffic flow data at T-junction of Xincheng square (unit: vehicle)
表 2. 新城广场丁字路口车流量数据表(单位: 辆)

时间段	X1	X1'	X2	Y1	Y1'
平峰 10:00~11:00	965	864	698	865	756
低峰期 14:00~17:00	562	463	356	523	654
高峰期 11:00~12:00 18:00~20:00	1464 1644	1595 1578	1365 1562	1652 1756	1654 1698



Figure 1. Road network diagram
图 1. 道路网络图

上述两表格统计钟楼以及新城广场的车流量来源方向分别以图 1 中 X1, X1', X2, X2', Y1, Y2' 车道, 以及以钟楼为中心的环岛车道东北, 西北, 西南, 东南四个方向车道的车流数据。

2.1.2. 现有问题分析

综合上述数据图表, 结合实地调查结果分析发现主要问题如下:

- 1) 早晚高峰时, 由于上下班车流集中, 钟楼附近车道出现不同程度的拥堵情况且其中 Y1, Y2' 明显存在车辆排队长度较长现象。
- 2) X4, Y4 次干道转向车辆排队长度大, 存在车辆等待通过交叉口的时间大于两个信号周期。
- 3) 存在车辆不驶入交叉口便提前掉头, 普遍出现在进出口道 Y2' 直行车道驶入 X2 车道时, 掉头车辆的行进空间, 造成路段拥堵[4]。

2.2. 仿真模型的建立

1) 道路和交通灯建模

选择 AnyLogic 中的道路交通库模块, 进行仿真环境建模。首先使用“演示库”中的图像, 导入事先

下载好的地图。然后，使用库中的道路按一定比例画出钟楼、新城广场及其附近路段。接着，设置各交叉路口的车辆停止线或者车道连接器。完成交通道路网络图[5]，如图 2 所示。

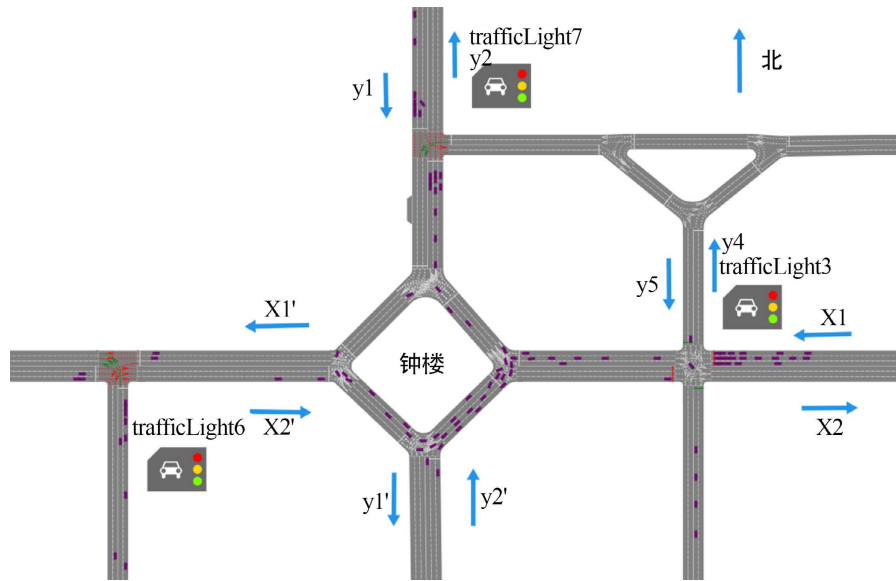


Figure 2. Traffic model simulation of Bell Tower, Xincheng Square and its adjacent sections
图 2. 钟楼、新城广场及其附近路段交通模型仿真

最后，基于道路交通网络构建完成之后，在必要的交叉十字路口添加交通灯，并进行相应属性设置。包括交通灯的红绿黄时长设置，以及车辆在路口遵循哪种通行指令，其中包括路口的车道连接器、停止线以及指定的停止线三种方式，本模型采用车道连接器的方式引导车辆通行，TrafficLight 基本属性设置如下图 3 所示。



Figure 3. Basic attribute settings of TrafficLight
图 3. TrafficLight 基本属性设置

2) 车辆行为建模

以车辆由初始道路行至最终目的路段为例，一般的逻辑流程为：车辆源产生车辆，选择是否通过交通灯，移动至下一路段，到达目的路段，车辆离开模型。

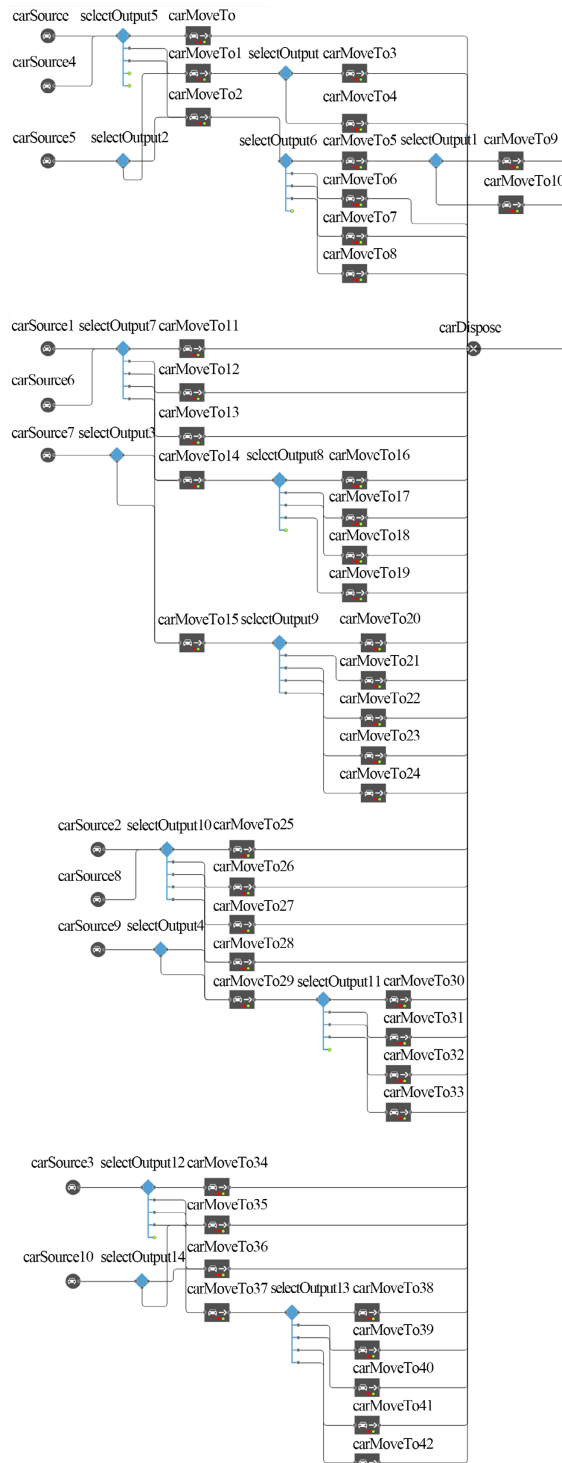


Figure 4. Flow chart of vehicles traffic in road traffic network
 图 4. 道路交通网络中车辆通行流程图

车流源(Carsource), 定义车辆从道路上的随机车道进入, 用车辆到达各个路口的速率来描述车流通行效率, 设置车辆从哪条道路上出现、到达的速率服从正态分布, 车辆初始速度为 20 km/h、最大加速度 1.8 m/s^2 、最大减速度为 4.2 m/s^2 。

选择(SelectOutput13), 因为 SelectOutput13 表示多条道路的选择, 基于前期采集的原始数据, 经过处理, 设置选择某条道路通行的相应概率, 本模型中采取概率的条件来实行选择。

车辆移动(CarMoveTo), 车辆从原始道路出发, 经过选择移动到某条道路上、公交站、或者停车场, 相应的参数设置主要是确定车辆具体移动到哪条道路上, 包括道路的正逆方向。

消逝(CarDispose), 设置从模型中移除车辆。在建立模型过程中使用流程图表示如图 4 所示。

每辆车作为一个智能体, 由 Carsource 产生后在规定发生的道路上行进, 到达岔路口时, 根据路口通行状况和红绿灯的放行情况来判断直接通过路口或者等待红绿灯放行后通过路口至目标路段, 最后离开。Car 智能体结束由 CarDispose 消逝。智能体 Car 在车辆道路交通网中通行的流程图如图 5 所示。

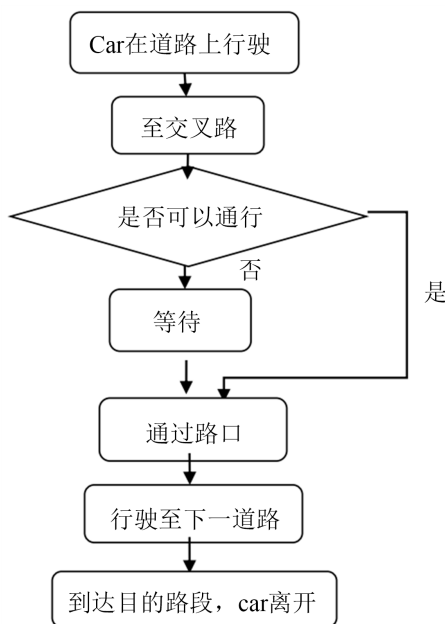


Figure 5. Flow chart of vehicle road traffic network
图 5. 车辆道路交通网络中通行流程图

3. 道路优化模型的设计

3.1. 交叉路口渠化优化方案设计

针对钟楼环形道路和新城广场地区的半环形丁字路口以及附近十字路口的道路进行渠化设计[6], 对地标线重新规划。道路渠化设计基本思路分为两种, 其一是设置道路交通标线和交通标志: 将原本环形路口无限制变道(可由任一道路向其他道路换道)改为采取设置规定的交通车道线、设立标志来疏导、引导车辆流向, 使交通流畅, 以达到提高道路通行能力, 保障行车安全, 确保过路人安全的目的。其二是设置交通导流岛: 在丁字型路口(新城广场)或十字路口设置右转专用车道, 并采用道路标线将机动车道和非机动车道分开, 辅助以限速、警示等标志来提醒车辆和行人按照交通规则通过路口, 以减少行驶过程中的等待时间提高路口的车辆和行人通过效率, 保障通过安全。

改善前, 环形道路和丁字路口道路线错综复杂, 车辆可随意变道, 在变道过程中各车辆之间相互影

响,降低了车辆通行效率,车辆在路口的等待时间较长,从而导致拥堵现象,如图6所示。

改善后,车道线将道路划分更明确,把不同行驶方向的车辆分别规定其必须在有明确轨迹线的车道内行使,不可随意变道,从而避免车辆相互干扰,减少车辆刚蹭风险,提高交通安全性和通行能力。驾驶员可根据导航沿当前行驶道路进行左转弯、变道或者直行,改善车道线如图7所示。

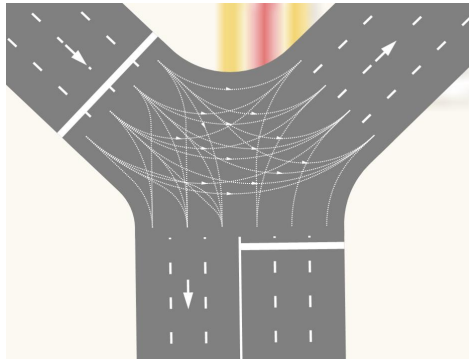


Figure 6. Improving the front lane line

图6. 改善前车道线

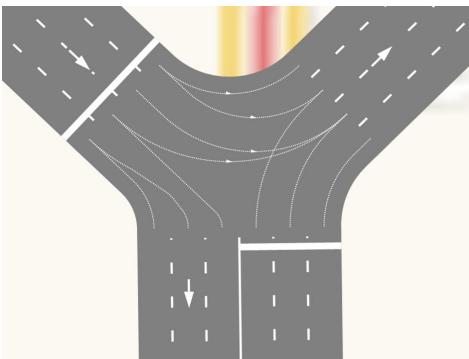


Figure 7. Improved lane line

图7. 改善后车道线

3.2. 交叉路口红绿灯时长的优化

以系统中车辆通行时间为优化目标,即车辆从车流源产生到达目标路段结束时在整个通行过程中所用的平均时间最短。

利用迭代算法,对红绿灯时长进行计算,目标值包含当前和最优两组值。设定红绿灯优化变量 p_1, p_2, \dots, p_7 为初始时间参数,java 编辑“root.timeInSystem.mean()”,迭代次数:500;其次设置 P_1, P_2, \dots, P_7 的参数,生成优化实验的基本模型。随机赋给每一组值以对应相应目标值-timeInSystem 的变化,与此同时,每一组值经过迭代可以得到一组最优解,当迭代次数不停的累积,直到最优解不再发生变化时,此时的最优解就是优化实验最终需要的最优解[7]。

目标值-timeInSystem 最小(T_{\min})与 p_1, p_2, \dots, p_7 存在某种函数关系,迭代算法伪代码如下:

Begin

reset (数据集对象);

reset (数据集可能不可行对象);

reset (数据集最可行对象);

```

Next
  if (当前解决方案最可行) then,
    update (数据集最可行对象);
  if(当前解决方案不可行) then,
    最佳不可行对象=min(最佳不可行对象,get (当前对象目标值));
  if (最佳不可行对象!=
Double.Positive_infinity (无穷大)) then,
    update (数据集可能不可行对象)
  else
End

```

为了便于理解上述语句，可简单表达为 $T_{\min} = f(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7)$ ，其中 f 为某种特定函数关系，本文不做研究。

运行后得到各个红绿灯时长参数的最优解为：

$$\begin{pmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P5 \\ P6 \\ P7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 20 \\ 46 \\ 36 \\ 37 \\ 47 \\ 90 \\ 58 \end{pmatrix}$$

红绿灯优化前后时长对比如下图 8 所示。

优化3: Optimization

	当前	最优
迭代:	81	72
目标: ↓	545.922	530.452
参数		Copy best
p1	32	20
p2	46	46
p3	36	36
p4	37	37
p5	38	47
p6	81	90
p7	49	58

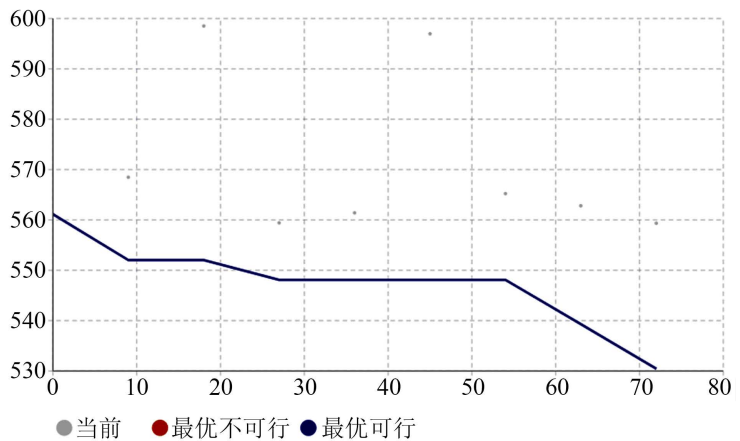


Figure 8. Solution of traffic light duration parameters
图 8. 红绿灯时长参数的求解

4. 仿真分析

1) 热力图

模型运行后的热力图如图 9、图 10 所示(拥挤程度由高到低依次为：红色、橙色、绿色)：



Figure 9. Before traffic light optimization
图 9. 红绿灯优化前



Figure 10. Traffic lights after optimization
图 10. 红绿灯优化后

从图 9 和图 10 可以看出,改善前后,钟楼环岛和新城区丁字路口实时交通路况图像显示,多个路段颜色明显改变,由红色变为橙色或浅绿色,可见改善使交通拥堵程度降低,说明改善有效果。

2) 平均时间

Table 3. Comparison of average time before and after simulation
表 3. 平均时间仿真前后数据对比

数据项(单位)	改善前(s)	改善后(s)	减小比例
均值	614.898	586.991	4.54%
最大值	3206.726	3057.764	4.64%
最小值	56.844	56.027	1.43%
偏差	548.67	509.014	\
均值置信	27.804	18.561	\

从表 3 中可以看出, 优化后, 车辆在系统中通行的时间有明显减少, 平均减少了 4.64%; 正常时间内, 车流通行时间也从 56.844 s 缩短到了 56.027 s, 同比减少 1.43%。可见优化后车辆在各个时段通行时间都有所减少, 可以得出 Y1, Y2' 干道车辆排队时间及 X4, Y4 次干道转向车辆等待通行时间均有所降低, 可见此优化对改善拥堵, 提高通行效率提供很好的帮助。

3) 车辆总数

模型优化前后车辆总数对比图分别, 如图 11、图 12 所示。

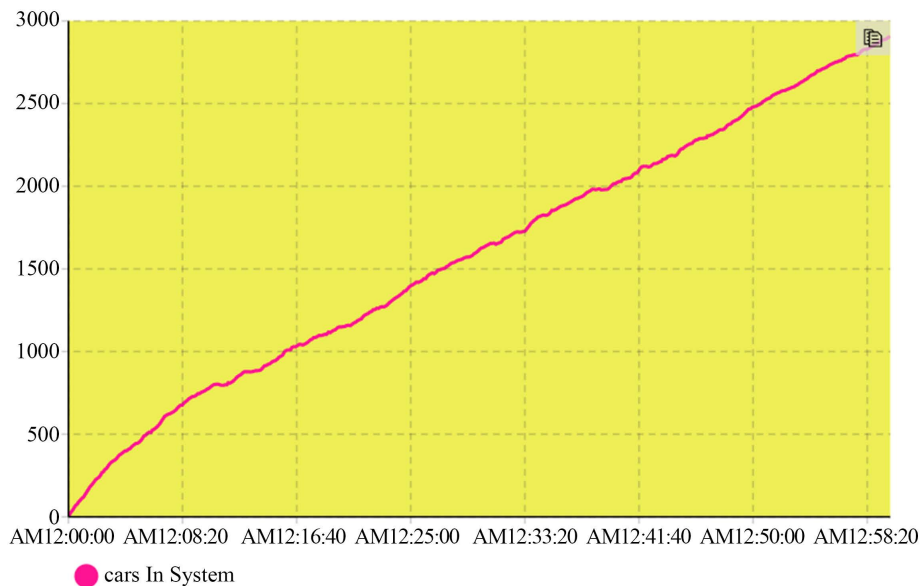


Figure 11. Change diagram of Cars in system before optimization

图 11. 优化前 Cars in system 变化图

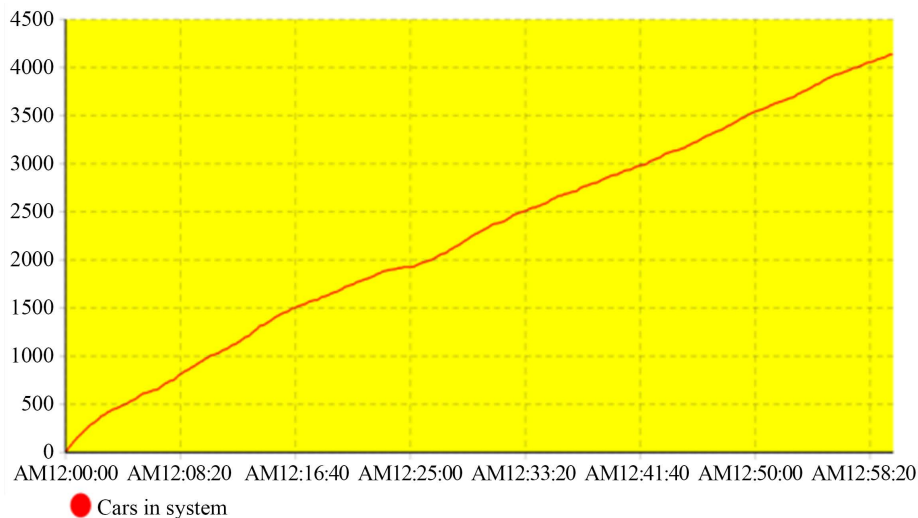


Figure 12. Change diagram of Cars in system after optimization

图 12. 优化后 Cars in system 变化图

从图 11 和图 12 中可以看出, 系统中车辆通行总数由 2720 增加到 4310, 车辆总数增加了 1590, 可知通行量在原模型的基础上提高了 58%。可见在控制红绿灯时长参数的方案设计中, 各个干道车辆通行

量均有所增加，有效地提高交通通行效率。

在上述交通仿真优化实验中，我们追求车辆在系统中通行所用的时间越短越好，因此确定了平均时间和车辆总数为评价指标，通过对比优化前后的各指标的数据变化，我们以此验证优化是否有效。很明显，通过对比以上各指标在优化前后的相应变化，肯定了该优化实验效果达到了预期想要实现的目标和功能，即通过对交通灯的时长参数的优化，进而改善钟楼的交通情况。

5. 总结

本课题通过对环形道路渠化重新设计，并结合仿真智能算法优化交通枢纽红绿灯时长，对复杂的交通控制系统进行改善与优化。仿真数据表明，实现同比车流通行时间减少 1.43%，明显提高交叉路口交通通行效率，实现交叉路口路况有效改善，该方案可实施性高，可以有效地节省人力物力财力，对交通枢纽管理提供有效的参考价值。

基金项目

陕西省创新创业训练计划项目(S202010708064)。

参考文献

- [1] 何锦辉, 郑斯纬, 王佳颖, 等. 基于嵌入式的智能交通防堵塞系统的设计与实现[J]. 信息与电脑, 2020, 32(4): 127-128, 131.
- [2] 魏国荣. 基于 SCATS 的动态交通数据预处理方法研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2020.
- [3] 龙润泽, 闫学宽. 城市轨道交通框架网下的线路 GPS 控制网与交叉线路控制点的精度分析[J]. 中国高新科技, 2020(12): 65-68.
- [4] 宏飞, 张心萍, 赵艳慧, 等. 基于微博的西安市交通拥堵状况时空分布研究[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2015(6): 83-88.
- [5] 孙科. 面向智能交通系统的仿真路网快速建模技术研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学(北京), 2019.
- [6] 胡佳寅. 城市道路平面交叉口渠化设计[J]. 工程与建设, 2020, 34(1): 67-68.
- [7] 刘佳阳, 李浩, 杨靖泽. 智能红绿灯的发展与应用探讨[J]. 电脑知识与技术, 2020(10): 256-257.