

城市交通网络智能算法优化与建模研究

任恒妮,刘彦戎,缪 茸
(陕西国际商贸学院,西安 712000)

摘 要: 为了缓解城市交通压力,减少车辆在城市道路系统中拥堵,从减少信号交叉口停留时间的角度出发,进行信号交叉口信号优化配时方法研究。在延误分析的基础上,建立基于延时综合指标的交叉口信号优化模型,利用 VISSIM 对实际交叉口进行模拟,仿真实验表明,使用基于优化后的方法可以有效降低累计延误。

关键词: 配时方法; 累积能耗; 最小延时模型; 配时优化模型; 交通仿真

中图分类号: TP302.7 文献标识码: A 文章编号: 1009-2552(2022)07-0070-05

DOI: 10.13274/j.cnki.hdzj.2022.07.013

Research on optimization and modeling of intelligent algorithm for urban transportation network

REN Heng-ni, LIU Yan-rong, MIAO Rong

(Shaanxi Institute of International Commerce, Xi'an 712000, China)

Abstract: In order to alleviate the traffic pressure of the city and reduce the congestion of the vehicle in the urban road system, this design studies the signal optimization timing method of the signalized intersection from the perspective of reducing the dwell time of the signalized intersection. Based on the analysis of the delay, an intersection signal optimization model based on delay comprehensive index is established, the VISSIM is used to simulate the actual intersection. The simulation experiment shows that the use of the optimized method can effectively reduce the cumulative delay.

Key words: timing method; cumulative energy consumption; minimum delay model timing; optimization model; traffic simulation

0 引 言

交通拥堵问题一直是影响我国城市化进程的因素之一。交叉路口是交通拥堵发生的主要地点,尤其是在车流量较大,交通还未足够发达的二线城市,很多平面交叉口的通行能力不足相关路段平均通行能力的 50%^[1]。交叉口是人流与车流集散和转向的地点,是城市道路交通的枢纽要道,是道路交通管理的控制点^[2]。机动车辆的持续增长导致城市交叉口交通堵塞、交通秩序混乱

的状况日益严重。交叉路口的人流量和车流量较大,容易发生交通事故^[3]。

近些年来,西安市政府一直致力于改善交通状况,除了改善市民的出行方式外,也对交叉口信号进行控制,这些都对缓解交通拥堵起到了一定的作用。但传统控制系统显然不能满足城市交通的要求,因此开发者需充分利用系统工程的理论,学习更为先进的交通控制方法。王娟^[4]在《动态交通网络环保出行路径规划研究》中通过构建与动态交通网络耦合的排放测算模型来完成系统算法设计,取得了较好的效果。朱云霞等^[5]在《基于 GA-BP 神经网络的交叉口短时交通流预测》中提出,通过优化的 BP 神经网络来建立交叉口短

基金项目: 陕西省高等教育学会项目(XGH19239)

作者简介: 任恒妮(1982-),女,硕士研究生,副教授,研究方向为大数据、系统开发。

时交通流预测模型,减少了一定的交通延时。本文通过制定相应的交叉口配时策略,优化交叉口的配时方案来降低汽车在交叉口的延误时间,并达到节能减排的效果,提高交叉口的通行能力。

1 基于最小延误时间的策略研究

为降低汽车在交叉口的延误时间,建立数学模型来进行求解最小延误时间。

1.1 建立最小延误时间模型

一般情况下一条主干线上的信号灯会统一控制^[6]。这样做的目的是为了车辆可以行驶顺畅,来降低汽车在交叉口的延误时间。对主干道进行协调控制主要是为了减少和主干道相交的道路对主干道交通的干扰,使得干线车流的通行权大于辅线。延误模型如公式(1)所示:

$$D' = \sum_{i=1}^m (\beta_i d_i) + \sum_{j=1}^n d_j \quad (1)$$

其中,其中 m 表示能够疏散干道上车辆的相位集合 M 的元素个数; β_i 表示 M 中某一相位的修正系数; d_i 和 d_j 分别表示第 i, j 相位的平均延误时间。经过修正后,得到的目标函数如公式(2)所示:

$$\min PI = \alpha \frac{D'}{D_0} - (1 - \alpha) \frac{Q}{Q_0} \quad (2)$$

其中 D_0 为交叉路口车辆的总平均延误时间; α 为评价延误时间的权重值; I 为绿灯间隔时间。对于每一个交叉口,信号周期的总长度为固定值,则:

$$\sum_{k=1} t_{EG k} + l = C \quad (3)$$

其中 t_{EG} 为有效绿灯时间。同时,对于周期时长还存在如下约束公式:

$$C_{\min} < C < C_{\max} \quad (4)$$

此外,在分析绿信比时提及的有效绿灯时间存在约束限制,最小绿灯时长一般取 6s,约束公式如公式(5)所示:

$$t_{EG k} > G_{m k} \quad (5)$$

其中 G_m 为最短绿灯时间。最小延误时间模型为:

$$\min PI = \alpha \frac{D'}{D_0} - (1 - \alpha) \frac{Q}{Q_0}$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{k=1} t_{EG k} + l = C \\ C_{\min} < C < C_{\max} \\ t_{EG k} > G_{m k} \\ 0.75 < x_i < 0.95 \end{cases} \quad (6)$$

其中 x_i 为第 i 相位的饱和度。

1.2 建立遗传算法

①设置编码方式,设置基因组长度与变量个数相同^[7],对绿灯时间的流量进行归一化处理后得到的数值与之前取得数值一致;

②设置适应度函数,作为该基因组对应路径的长度。适应度函数越小,对环境的适应程度越大;

③设置初始种群,并计算其适应度;

④为了选择基因组,首先获得整个种群的最大适应度函数,确定群体中每个基因组的最大值和适应值之间的差异,并且使用所获得的值作为基准。利用轮盘赌算法筛选基因组;

⑤设计遗传算子;

⑥重复执行④和⑤,直至到达规定的遗传算法的迭代次数;

⑦重复执行③~⑥,直至到达蒙特卡洛算法的迭代次数,则路径最优解即为整个迭代过程中记录的出现次数最多的最优基因组对应的路径。

1.3 分析遗传算法

由基本遗传算法的特点得知,基本遗传算法可描述为一个有限齐次马尔科夫链 P_t , 则:

$$P_t = \{ (t) \ t \geq 0 \} \quad (7)$$

因为遗传算法最终收敛到最佳解的概率要小于 1^[8],所以可以将种群分为两种状态 E, E_n ,其中状态 E 包含了最优解个体,而 E_n 没有包含最优解。如果遗传算法收敛于最佳解的概率为 1,那么进入 E_n 的稳定概率为 0,即在遗传算法演化过程中,种群从某一状态 $i (i \in E)$,经过几种算法后转变到状态 $j (j \in E)$ 。用 s_{ij}, C_{ij}, m_{ij} 分别表示选择算法、交叉算法和变异算法的转移概率。则变换矩阵 R 满足公式(8):

$$R = SCM = \{ r_{ij} \} \quad (8)$$

在 t 时刻,种群是状态 j 的概率 $P_j(t)$ 为:

$$P_j(t) = \sum_{i \in E} P_i(0) r_{ij}^t \quad (t = 0, 1, 2, \dots) \quad (9)$$

由齐次马尔科夫链的性质^[9]可知 $P_j(t)$ 的稳定概率分布与其初始概率无关,则:

$$P_j(\infty) = \sum_{i \in E} P_i(\infty) r_{ij} > 0 \quad (10)$$

式中 $j \in E$, 即 j 可能属于 E_0 , 也可能属于 E_n , 从而可得公式(11):

$$\begin{cases} \lim_{x \rightarrow \infty} P\{P_i \in E_n\} > 0 \\ \lim_{x \rightarrow \infty} P\{P_i \in E_0\} < 1 \end{cases} \quad (11)$$

从上式可得知,基本遗传算法收敛于最优解的概率小于 1,这就说明遗传算法是具有收敛性这一特性的。

1.4 求解具体配时方案

若两交叉口相邻,必然存在某一交叉口的一个道路截面驶入和驶出的车辆数等于另一交叉口的一个道路截面驶出和驶入的车辆数。已知西安市某相邻交叉路口的交通流量数据,在交叉口 A 的四个相位时间分别为 56s、23s、35s 和 26s,交叉口 B 的四个相位时间分别为 47s、21s、39s 和 22s。两个交叉口的相位差为 8s,并且所有的相位都包括了 3s 黄灯和 1s 的红灯。

已知两个交叉口每一相位的有效绿灯时长,以及具体的交通流量和平均延误时长,则:

$$d_i = \frac{C(1 - \lambda_i)}{2(1 - y_i)} + \frac{x_i^2}{2q_i(1 - x_i)} - 0.65 \left(\frac{C}{q_i} \right) x_i^{(2+5\lambda_i)} \quad (12)$$

其中, x_i, y_i, λ_i 有两个是已知的,因此可以求解到每一相位的一个实际饱和和流率。求解得到配时优化方案如表 1 所示。

表 1 优化后的配时方案

有效绿灯时长 (s)					
交叉口	第一相位	第二相位	第三相位	第四相位	周期时长
A	52	28	35	39	170
B	60	60	19	15	170

表 2 优化前后的平均延误时间对比 (s)

交叉口	A				B			
	一	二	三	四	一	二	三	四
优化前 d_i	6.72	7.55	4.89	8.16	11.33	5.26	13.61	5.03
优化后 d_i	3.50	4.73	3.95	4.71	3.26	4.11	4.08	5.11

由表 2 可知,优化后的配时方案的平均延误时长明显小于优化前的平均延误时长,A、B 两个交叉口的总延误一共减短了 27s,效果显著。

表 1 为求解得到的最佳配时方案,其中第一相位表示信号交叉口的直行和右转弯相位,第一相位的有效绿灯时长即为交叉口 A 和交叉口 B 直行和右转的有效绿灯时间时长,分别为 52s 和 60s。第二相位则为左转相位,即表示交叉口 A 和交叉口 B 的左转绿灯有效时长,分别为 28s 和 60s。第三相位和第四相位则和前面类似,只不过由原来的东西方向转为南北方向,表示为直行与右转相位和左转相位。信号灯进行一次循环需要 170s。

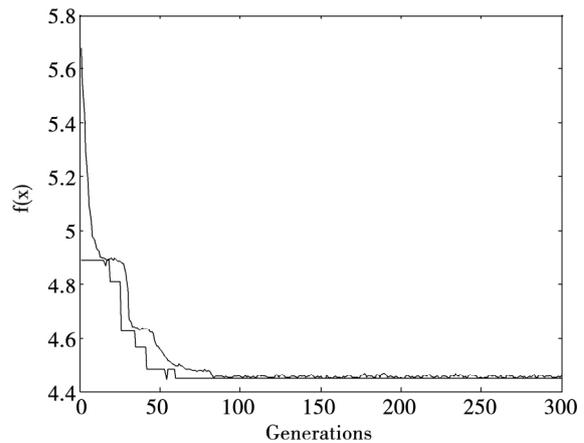


图 1 遗传算法适应度变化图

图 1 是遗传算法适应度变化值,从图中可以清晰的看到计算结果具有收敛性。当进化代数到达 90 左右时就开始收敛并且趋于稳定。

在了解到遗传算法的收敛情况后,还需进一步分析优化后的配时方案对交通的改善情况,对优化前和优化后的平均延误时间进行对比,结果如表 2 所示。

2 交叉口仿真模型的建立

2.1 模型建立

2.1.1 车辆运动特性模型

基于交叉口建立一个二维坐标,表示车辆在

某段时间内的移动情况,其速度、加速度等参数可根据车辆在交叉口加减速、跟驰等情况计算^[10-11]。在车辆现有位置已知的条件下根据其行驶轨迹及转向计算新坐标的位置,用于在仿真平台上的输出^[12]。

假设两参考点 A、B 的距离为 Δy , 车辆从 A 运动到 B 所花的时间为 Δt , 则其运动方程为:

$$\Delta y = \frac{1}{2} a (\Delta t)^2 + v \Delta t \quad (13)$$

其中 a 表示车辆经过 A 点时的加速度, v 表示车辆经过 A 点的速度。

2.1.2 车辆加速减速模型

当交叉路口的信号灯为红灯时或者交叉口有车辆等待通过交叉口, 则后方车辆必须减速或停车^[12]。信号交叉口的加速模型为:

$$\begin{cases} v = C_0 + C_1 t + C_2 t^2 \\ a = a_0 + \gamma t \end{cases} \quad (14)$$

式中, a_0 为车辆刚开始加速时的加速度; t 为车辆从初始时的速度到指定速度所需要的时间; γ 为加速度的变化率。

车辆减速的情况有三种, 计算公式为:

$$\begin{cases} v^2 = C_0 + C_1 y \\ v = C_0 + C_1 y \\ v^2 = C_0 + C_1 y + C_2 y^2 \end{cases} \quad (15)$$

其中, 经过交叉口时车辆开始减速, 而初始速度为 v , 车辆从减速到停止经过的距离为 y 。

2.2 模型仿真

首先将得到的交通数据输入到 VISSIM 仿真软件中, 利用 VISSIM 对交通状况进行计算模拟, 每个方案的仿真时间都固定在 60min, 将统计到的数据输入到 VISSIM 软件中, 对各数据进行评价, 结果分别如表 3-5 所示。

表 3 各时段延时时间 (s)

	早高峰						平峰						晚高峰					
	优化前			优化后			优化前			优化后			优化前			优化后		
	直	左	右	直	左	右	直	左	右	直	左	右	直	左	右	直	左	右
东	9.6	0.1	12.7	9.3	0.1	9.1	10.3	0.4	14.7	9.0	0.3	11	12	1.8	12.4	18.9	3	18.8
西	12.3	9.8	9.2	10.3	6.3	5.8	12.5	15.5	8.5	10	11.7	4.1	13.3	12.8	6.0	17.7	11.4	22.1
南	42.3	0.9	41.5	12.2	0.3	17.7	46.4	2	41.3	20.9	0.2	19.8	44	3.2	43.9	22.1	0.6	22.7
北	38.7	34.4	39.2	16.2	16.5	14.9	38	41	48.1	22.8	23.2	18.4	29.6	46.2	36.6	18.2	22.2	22.4

表 4 各时段排队长度 (s)

	早高峰				平峰				晚高峰			
	优化前		优化后		优化前		优化后		优化前		优化后	
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
东	7	71	5	57	12	92	9	68	20	123	31	122
西	15	167	8	67	9	123	6	62	9	124	12	92
南	15	69	5	62	14	65	7	38	17	79	9	45
北	29	106	10	65	112	231	46	140	41	131	19	93

表 5 各个时间段通行能力

	早高峰		平峰		晚高峰	
	优化前	优化后	优化前	优化后	优化前	优化后
通行能力	4069	4256	4441	4513	4513	4850

以上几个表格分别对交叉口的延误时间、排队长度和道路的通行能力进行优化前后的比较。通过表格可知, 经过配时优化后, 车辆在交通信号交叉口的延误时间明显降低。

2.3 最佳配时方案的可行性分析

平均延误时长、平均排队长度及通行能力是评价交叉口交通运行情况的三项重要指标^[13]。根据前面的数据可以得到以下时间段的指标数据,如表6所示。

表6 各时间段的指标数据 (s)

	早高峰		平峰		晚高峰	
	优化前	优化后	优化前	优化后	优化前	优化后
平均延误	62.7	29.7	69.7	37.9	65.5	50.0
平均排队长度	16.5	7	36.8	17	21.8	17.8
通行能力	4069	4256	4441	4513	4513	4850

利用上表数据画出平均延误时间、平均排队长度还有通行能力的条形图来进行比较,分别如图2-4所示。

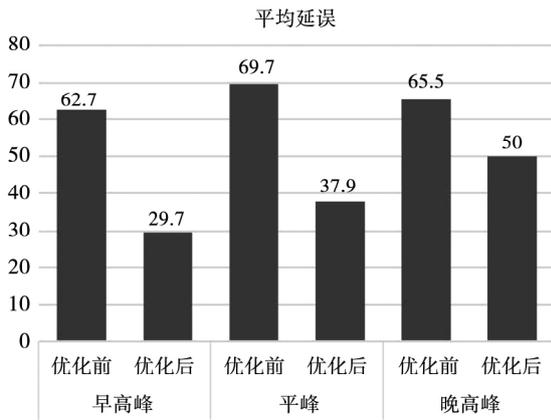


图2 平均延误时间对比图

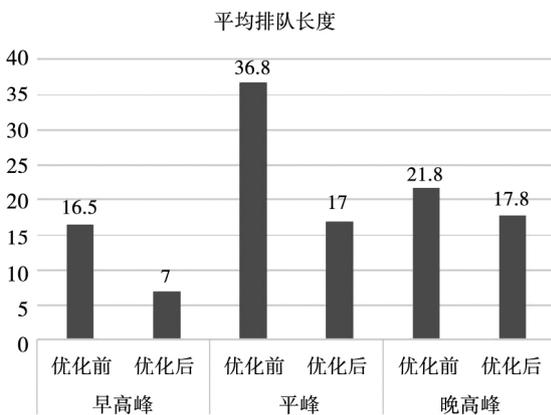


图3 平均排队时长对比图

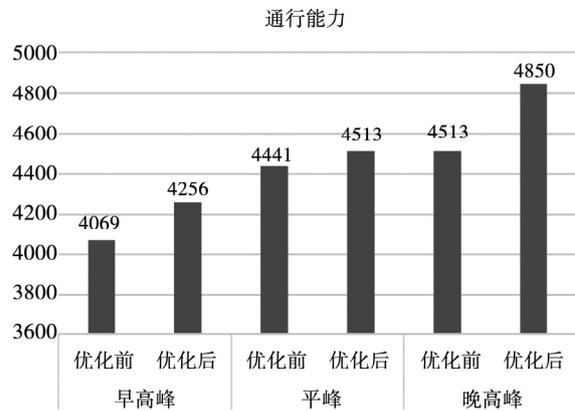


图4 通行能力对比图

由以上几个优化前后比较图可知,虽然每个路口的配时优化程度不同,但是还是有明显的优化效果。对于平均延误时间,早高峰相对于现有的方案优化了约53%,平峰为45%,晚高峰约为24%;而平均排队长度早高峰降低了约58%,平峰为53%,晚高峰为18%;但是对于通行能力来说优化较少,早高峰、平峰、晚高峰分别优化了5%、2%、7%。综上所述,所提的配时方案在实际运用中可以得到较好的效果。

3 结束语

车辆在交通信号交叉口造成的交通拥堵主要是因为交通管制等各种原因造成的延时。本文基于遗传算法并结合实际问题对原有方法加以改进,对配时方案进行优化。建立具体的模型和算法,用遗传算法分析求解出交通信号灯配时优化方案,再利用VISSIM验证模型算法的正确性。本文采用的改进后的遗传算法具有较好的收敛性,可以较快地得到所需要的结果。由于周期的长短随交通流量的变化而变化,而建模时采用的数据量不够大、不够精确、存在一定的误差,在以后的研究中还需要进一步优化。

参考文献:

- [1] 江志彬,季婷婷. 基于客流影响的城市轨道交通列车运行调整策略[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(1): 39-42.
- [2] 商明菊,胡尧,周江娥. 基于改进递归小波变换的交通流异常点与变点检测算法[J]. 公路交通科技, 2019, 36(8): 133-143.

(下转第80页)

新的挑战,尽管它具有效率高、成本低的优点,但易出现安全漏洞。本文提出了一种黑洞探测系统。根据所提出的黑洞攻击检测模型,一旦检测到黑洞攻击簇头(CHs)就触发CH重选过程,以实现一个无黑洞攻击的环境,该环境有助于安全地转发传输的信息,并且信息丢失的风险最小。为此,采用了一种基于主要的黑洞攻击指标,即信道丢包率(PDR)的分层信任评分评估方法,研究了不同阈值对系统模型行为的影响。研究表明,50%的PDR阈值能以最少的重聚类操作达到系统的早期稳定性。

参考文献:

[1] Jia J, Yuan S. Prevention/detection methods of black hole attack: a review [J]. *Advances in Computational Sciences and Technology* 2018, 11(11): 935–944.

[2] 余贻鑫. 面向 21 世纪的智能电网 [J]. *天津大学学报: 自然科学与工程技术版* 2020, 53(6): 551–556.

[3] 周念成, 廖建权, 王强钢, 等. 深度学习在智能电网中的应用现状分析与展望 [J]. *电力系统自动化* 2019, 43(4): 180–191.

[4] Otoum S, Ahmed M, Mouftah H. Sensor medium access control (SMAC)-based epilepsy patients monitoring system [C]. 2015 IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Hali-

fax, NS 2015: 1109–1114.

[5] Isidori A. *Nonlinear control systems* [M]. New York: Springer Press, 1995: 32–38.

[6] 王珺, 朱志伟, 刘俊杰. 一种针对无线传感网中黑洞攻击的检测与防御方法 [J]. *计算机科学* 2019, 46(2): 102–108.

[7] 杨耀红. 物联网环境下恶意攻击检测与防御机制研究 [D]. 石家庄: 河北科技大学 2019.

[8] 朱志伟. 无线传感器网络中路由攻击的研究 [D]. 南京: 南京邮电大学 2017.

[9] Kaur R, Kaur H. A reserve path based black hole detection and prevention algorithm in wireless sensor network [J]. *International Journal of Computer Applications*, 2017, 178(7): 30–35.

[10] Han G, Jiang J, Shu L, et al. Management and applications of trust in wireless sensor networks: a survey [J]. *Journal of Computer & System Sciences* 2014, 80(3): 602–617.

[11] Bao F. Hierarchical trust management for wireless sensor networks and its applications to trust-based routing and intrusion detection [J]. *Network and Service Management, IEEE Transactions on network and service management* 2012, 9(2): 169–183.

(责任编辑: 丁晓清)

(上接第 74 页)

[3] 顾蔡君. 城市轨道交通列车空滑检测的融合算法研究 [J]. *铁路通信信号工程技术* 2019, 16(7): 55–60.

[4] 王娟, 阎柄辰, 胡开建, 等. 动态交通网络环保出行路径规划研究 [J]. *合作经济与科技* 2019(18): 13–15.

[5] 朱云霞, 郭唐仪. 基于 GA-BP 神经网络的交叉口短时交通流预测 [J]. *交通运输研究* 2019, 5(2): 45–51.

[6] Sun D, Zhao Y, Lu Q C. Vulnerability analysis of urban rail transit networks: a case study of shanghai, China [J]. *Sustainability* 2015, 7(6): 6919–6936.

[7] 袁若岑, 王丽琼, 温志伟. 基于攻击策略的城市轨道交通网络脆弱性研究 [J]. *城市轨道交通研究* 2015,

18(8): 57–61.

[8] 李海舰. 道路交通信息获取多参量感知与传感器网络优化 [D]. 北京: 北京交通大学 2014.

[9] 王京元. 信号交叉口时空资源综合优化实用方法研究 [D]. 南京: 东南大学 2006.

[10] 翟忠民. 道路交通组织优化 [M]. 北京: 人民交通出版社 2004.

[11] 彭飞. 城市道路交叉口交通组织优化研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学 2016.

[12] 郭延永. 基于交通冲突理论的信号交叉口安全评价技术 [D]. 南京: 东南大学 2016.

[13] 杭佳宇, 周溪召. 基于 VISSIM 仿真的学府路与谷阳路交叉口优化设计 [J]. *物流科技* 2017, 40(12): 92–94, 123.

(责任编辑: 丁晓清)