

文章编号:1671-1637(2015)01-0119-08

混合交通流条件下区域交通信号控制优化模型

韩 印,邢 冰,姚 佼,刘 婧

(上海理工大学 管理学院,上海 200093)

摘 要:针对传统区域交通控制技术无法应对机非冲突干扰的问题,结合中国城市道路混合交通流的特点,研究了交叉口与路段非机动车对机动车的干扰。分析了区域路网机动车交通特征,确定了混合交通特性相似的区域。基于路段非机动车的阻滞作用,分析了交叉口通行能力的折减与相邻交叉口相位差的优化。以区域路网机动车总延误为优化目标,建立了非机动车影响条件下的区域交通信号控制优化模型,优化了信号周期时长、绿信比和相位差等参数,并利用遗传算法求解模型。利用 VISSIM 仿真软件,以上海市杨浦区五角场环形区域路网为例对优化模型进行验证。验证结果表明:现状信号控制方案下区域路网 7 个交叉口机动车的车均延误为 24.5~42.9 s,平均为 35.99 s,路网总延误为 256.39 h,优化后交叉口的车均延误为 21.8~36.4 s,平均为 30.12 s,路网总延误为 214.57 h,7 个交叉口车均延误减少了 10%~24%,平均为 16.31%。可见,优化模型能够显著降低区域路网车均延误与总延误,提高区域路网通行效率。

关键词:智能交通系统;区域交通信号控制;混合交通流;车均延误;通行能力;优化模型

中图分类号:U491

文献标志码:A

Optimal model of regional traffic signal control under mixed traffic flow condition

HAN Yin, XING Bing, YAO Jiao, LIU Jing

(School of Business, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Considering that traditional regional traffic control technology could not cope with the interference problems of motor vehicles and non-motorized vehicles conflict, the characteristics of mixed traffic flow in China's urban road were combined, and the interferences of non-motorized vehicles on motor vehicles at intersections and links were researched. The traffic characteristics of motor vehicles in regional road network were obtained, and the regions with similar mixed traffic characteristics were defined. Based on the blockade effect of non-motorized vehicle, the capacity reduction of intersections and phase difference optimization of adjacent intersections were analyzed. The total delay of motor vehicles in regional road network was used as optimization objective, the optimal model of regional traffic signal control influenced by non-motorized vehicles was built, and signal cycle length, split ratio and phase difference were optimized. Genetic algorithm was introduced to solve the optimal model. Taking the Wujiaochang annular regional road network in Yangpu District of Shanghai as an example, the optimal model was verified by using VISSIM software. Verification result indicates that for signal control scheme before

收稿日期:2014-08-07

基金项目:国家自然科学基金项目(51008196);上海高校一流学科建设计划项目(S1201YLXK);上海高校青年教师培养资助计划项目(slg12009)

作者简介:韩 印(1964-),男,黑龙江绥化人,上海理工大学教授,工学博士,从事交通控制研究。

optimization, the average delays of each motor vehicles are 24.5-42.9 s at 7 intersections, the average value is 35.99 s, and total vehicle delay is 256.39 h in regional road network. For signal control scheme after optimization, the values are 21.8-36.4 s, 30.12 s and 214.57 h respectively. The decrement rate of average each vehicle delay is 10%-24% at 7 intersections, the average value is 16.31%. So the optimal model can effectively reduce each vehicle delay and total vehicle delay in regional road network, and the operational efficiency increases in the regional road network significantly. 4 tabs, 4 figs, 26 refs.

Key words: intelligent transportation system; regional traffic signal control; mixed traffic flow; each vehicle delay; capacity; optimal model

Author resume: HAN Yin(1964-), male, professor, PhD, +86-21-65711124, hanyin2000@126.com.

0 引 言

近几年随着人们环保意识的提升,非机动车出行比例明显增长^[1]。城市机动车保有量的增加必然会导致交叉口机非混行严重。非机动车影响下的混合交通甚至是混乱交通已成为当代中国城市道路运行的显著特征,也是影响交叉口通行能力的主要根源之一。交通信号控制可以从时间上实现机非分离,区域交通信号控制方法已成为当今城市交通问题研究的热点之一,特别是在控制过程中充分考虑非机动车的干扰,可以大幅度提高城市交通运行的效率 and 安全性,因此,有必要对非机动车影响条件下区域交通信号控制的优化进行深入研究。

传统的区域交通信号控制起源于 Robertson 等提出的 TRANSYT 系统,作为一种离线定周期的区域交通信号控制系统优化程序,已在很多城市得到了广泛应用^[2],但该系统只是针对静态交通流,未能体现动态交通流特性。英国运输与道路研究所(TRRL)在研究 TRANSYT 系统的基础上,研制成功了 SCOOT 联机控制系统,它是一种实时自适应控制系统,在功能和方法上得到明显改进。在此基础上,一些专家学者分析了区域交通信号控制对均衡交通流和车流行程时间的作用:García 等考虑了私家车和公交车混行影响的不对称性,通过建立两者的阻抗函数得到了交通平衡模型^[3];Chiou 考虑出行者行为选择的不确定因素较大,研究了不确定需求下的均衡区域交通流控制模型^[4]。

针对中国交通运行的特点,研究者从多角度建立并优化了区域交通信号控制模型,并采用多种方法进行分析,其中一类为基于网络交通分配和信号控制优化双层模型的分析思路:高云峰等以交叉口为对象,运用多目标优化方法建立了交通协调控制参数的多目标模型,并采用非支配排序遗传算法进

行求解^[5];徐建闽等针对过饱和交通流,以区域整体输出交通流最大化和总延误最小化为目标,构建了区域协调控制双层规划模型^[6];刘芹等在徐建闽研究的基础上,以区域总排队最小和总输出车流最大为指标,利用粒子群算法和模拟退火算法求解有效绿灯时间,结果优于 TRANSYT 模型^[7];Yang 等针对过饱和和交通流状态,基于交通流分配原理,进行了不同交通状态下的区域交通控制优化研究^[8]。另一类采用智能优化方法进行分析:李水友等采用概率论中 D-S 证据理论的模式匹配方法来判定交通状况,从而实现区域的实时协调控制^[9];梁超等以路段拥挤度、绿灯持续时间和绿灯修正延长时间为变量,根据多智能体技术和模糊控制方法设计了区域交通协调控制器^[10];魏赟等基于 Q 学习和粒子群算法建立了相位差优化算法,根据不同交通流确定相应目标函数,实现区域交通动态实时控制^[11-12];肖超等根据区域内交叉口各相位方向排队长度,基于模糊理论进行区域交通协调控制研究,结果表明方法能够有效提高交叉口通行能力并降低车均延误^[13]。以上研究大多没有考虑到中国现状条件下机非混行的情况。非机动车影响下的区域交通信号控制的现有研究中,主要是通过分析慢行交通短距离出行特性对区域交通控制参数的影响,建立周期和绿信比共同优化的多目标优化模型以及协调路段相位差优化模型^[14-15],但研究未能充分体现中国非机动车交通灵活机动特点,以及其对区域路网机动车在不同断面的干扰。

基于上述分析,本文针对中国城市机动车和非机动车以及机非混行的特点,强调非机动车对区域路网交通信号控制的干扰,以此为基础,结合区域交通信号控制理论,考虑非机动车对路网交叉口通行能力以及路段机动车运行的干扰影响,建立了以交叉口机动车总延误最小为目标的区域交通信号控制

优化模型,以此来有效协调区域路网不同交通流的运行,提高路网的整体运行效率。

1 非机动车影响分析

非机动车的影响主要分为摩擦干扰和阻滞干扰。摩擦干扰是指非机动车侧向接近于机动车道时,机动车驾驶人由于安全原因会降低车速行驶;阻滞干扰是指非机动车占用机动车道,阻挡了机动车的行驶,迫使机动车减速行驶,造成延误^[16-17]。在实际道路条件下,阻滞干扰对机动车延误影响较大,因此,本文重点分析非机动车对路段与交叉口机动车的阻滞干扰。

1.1 非机动车影响下交叉口延误分析

由于交叉口时间和空间资源的有限性,以及非机动车机动灵活的特点,当机动车车流出现可接受间隙时,非机动车会利用间隙抢先穿越交叉口,造成交叉口机动车延误的增加。非机动车影响下机动车通行能力的锐减是导致交叉口延误增加的重要因素之一。交叉口通行能力不仅与饱和流量有关,还与有效绿灯时间和信号周期时长有关,表示为

$$C_n^p = S_n^p g_n^p / T_n = S_n^p \lambda_n^p \quad (1)$$

式中: C_n^p 为交叉口 n 相位 p 的通行能力; S_n^p 为饱和流量; g_n^p 为有效绿灯时间; T_n 为交叉口 n 的信号周期时长; λ_n^p 为绿信比。

对于非机动车影响下通行能力的折减,一般是根据非机动车流量估计冲突点非机动车占有率,依次折减饱和流量来计算通行能力,适用于非机动车流较少的情况。本文对其进行改进,基于交叉口不同流向的机非冲突特征,考虑机非冲突影响下交叉口的路段饱和流量变化,以非机动车通过交叉口时间占用相位绿灯时间的比重进行折减,考虑机非主要干扰影响因素,直行机动车受对向左转非机动车干扰,左转机动车受对向直行非机动车干扰,右转机动车受同向直行非机动车干扰,分别表示为

$$C_n^p = S_n^p \lambda_n^p (f_1 + f_2 + f_3) \quad (2)$$

$$f_1 = \frac{\sum_i \sum_l Q_l^{i,1}}{Q_l^p} \left[1 - \frac{c \sum_i \sum_l q_l^{i,2}}{v \lambda_n^p} \right] \quad (3)$$

$$f_2 = \frac{\sum_i \sum_l Q_l^{i,2}}{Q_l^p} \left[1 - \frac{c \sum_i \sum_l q_l^{i,1}}{v \lambda_n^p} \right] \quad (4)$$

$$f_3 = \frac{\sum_i \sum_l Q_l^{i,3}}{Q_l^p} \left[1 - \frac{c \sum_i \sum_l q_l^{i,1}}{v \lambda_n^p} \right] \quad (5)$$

式中: f_1 、 f_2 、 f_3 分别为机动车直行、左转与右转的非机动车调整系数; S_l 为机动车路段 l 的饱和流量; c 为非机动车平均车头空距; v 为非机动车平均行驶速度; $Q_l^{i,1}$ 、 $Q_l^{i,2}$ 、 $Q_l^{i,3}$ 分别为路段 l 方向 i 直行、左转与右转的机动车流量, i 取 $1 \sim 4$ 分别对应交叉口处路段进口的东、南、西、北4个方向; $q_l^{i,1}$ 、 $q_l^{i,2}$ 分别为路段 l 方向 i 直行、左转的非机动车流量; Q_l^p 为路段 l 相位 p 的机动车流量。

交叉口机动车延误分为正常相位延误、随机延误和过饱和延误。正常相位延误采用稳态延误模型中的均衡延误表达式,随机延误与过饱和延误采用过渡延误函数模型表达式,分别为

$$d_n^p = d_n^{po} + d_n^{pr} \quad (6)$$

$$d_n^{po} = \frac{T_n (1 - \lambda_n^p)^2}{2(1 - Q_l^p / S_n^p)} \quad (7)$$

$$d_n^{pr} = \frac{T_n}{4} \left[\left(\frac{Q_l^p}{C_n^p} - 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{Q_l^p}{C_n^p} - 1 \right)^2 + \frac{4Q_l^p}{(C_n^p)^2 T_n}} \right] \quad (8)$$

式中: d_n^p 交叉口 n 相位 p 的机动车平均延误; d_n^{po} 为机动车正常相位延误; d_n^{pr} 为机动车随机延误和过饱和延误之和。

1.2 非机动车影响下机动车路段延误分析

当交通流密度较大时,前后车辆之间相互约束,交通流具有流体连续性特征,因此,采用交通流波动理论^[18-20]分析非机动车对路段机动车的干扰。

由于非机动车占用机动车道,导致机动车队头车减速行驶,跟驰车流发生聚集,产生集结波,当非机动车离开机动车道后,交通流开始消散,产生疏散波,因此,机动车流会经历一个疏散-集结-疏散的过程。非机动车对路段机动车流造成一次阻滞干扰的总延误由机动车流集结和疏散两个过程的延误组成,表示为

$$d_l = d_{lm} + d_{le} \quad (9)$$

式中: d_l 为非机动车对路段 l 机动车流造成一次阻滞干扰的总延误; d_{lm} 为路段 l 机动车流集结过程的延误; d_{le} 为机动车流疏散过程的延误。

在机动车集结过程中,受阻机动车数量增长率与机动车流密度、集结波速与非机动车平均行驶速度有关,表示为

$$r_{lm} = k_m (v - w_{lm}) \quad (10)$$

$$Q_{lmax} = r_{lm} t_{lm} \quad (11)$$

$$Q_{le} = r_{lm} (t_{lm} + t_{le}) \quad (12)$$

式中: r_{lm} 为集结过程中,路段 l 受阻时机动车数量增长率; k_m 为集结过程中,非机动车进入机动车道后的路段机动车流密度; w_{lm} 为集结过程中,路段 l 的

集结波速; $Q_{l\max}$ 为路段 l 最大受阻机动车数; Q_l 为集结过程中 t 时间段内路段 l 受阻机动车总数; t_{lm} 为集结过程中路段 l 机动车流集结时间; t_{le} 为疏散过程中路段 l 机动车流疏散时间。

在机动车流集结过程中,应用微积分原理,根据微变化时间段内的受阻车数与车均延误,计算机动车流集结过程的延误,疏散过程延误的计算同集结过程,分别表示为

$$d_{lm} = \int_0^{t_{lm}} \Delta d_{lm} dt = 0.5 Q_{l\max} t_{lm} \left(1 - \frac{v}{V}\right) \quad (13)$$

$$d_{le} = 0.5 Q_{l\max} t_{le} \left(1 - \frac{v}{V}\right) \quad (14)$$

$$\Delta d_{lm} = Q(t) \left(\Delta t - \frac{v \Delta t}{V}\right) = \frac{Q_{l\max} t}{t_{le}} \left(\Delta t - \frac{v \Delta t}{V}\right) \quad (15)$$

式中: $Q(t)$ 为微变化时间段 Δt 内的受阻车辆数; V 为机动车平均行驶速度,其变化较为复杂,考虑本文模型应用的区域范围不大,且要求区域混合交通结构类似,为简化问题,本文中机动车平均行驶速度定义为某一常量。

2 非机动车影响下区域交通控制优化模型构建

2.1 区域交通控制优化模型

针对混合交通结构类似的小型区域路网,充分考虑非机动车对路段与交叉口机动车的干扰,区域交通信号控制优化分为区域各交叉口信号周期时长和绿信比优化、相位差优化两部分。

对于信号周期时长和绿信比的优化,在进行信号协调控制时,为使相位差保持恒定,参与协调的各个交叉口均采用统一的公共信号周期时长。充分考虑非机动车对区域路网机动车的干扰,基于不同流向的机非冲突对区域路网通行能力进行折减,以区域路网机动车总延误最小为目标函数,建立区域交通信号控制优化模型,表示为

$$Z = \min \sum_l \sum_n \sum_p \frac{Q_l^p T_n}{C_n^p} \left[\frac{Q_l^p}{C_n^p} - 1 + \sqrt{\left(\frac{Q_l^p}{C_n^p} - 1\right)^2 + \frac{4Q_l^p}{(C_n^p)^2 T_n}} \right] \quad (16)$$

$$\text{s. t.} \quad T_{\min} \leq T_n \leq T_{\max} \quad (17)$$

$$\lambda_{\min} \leq \lambda_n \leq \lambda_{\max} \quad (18)$$

$$\theta_{n-1,n} + \theta_{n,n-1} = \beta T_n \quad (19)$$

式中: Z 为关于信号周期时长、绿信比与相位差的目标函数; T_{\min} 、 T_{\max} 分别为最小信号周期时长和最大信号周期时长; λ_{\min} 、 λ_{\max} 分别为最小绿信比和最大绿

信比; $\theta_{n,n-1}$ 为相邻交叉口 n 、 $n-1$ 的相位差; β 为任意正整数。

约束式(17)规定了交叉口信号周期时长的取值范围;约束式(18)规定了绿信比的取值范围;约束式(19)表明在区域交通信号控制过程中,2个相邻交叉口上下行相位差之间存在约束条件,即二者之和为共同信号周期时长的整数倍,上下行相位绿灯起步时差不能分别根据需要而取任意值,否则很难实现双向协调。

在区域交通信号控制优化过程中,相位差的优化在于使交通流在路网中更为连续、平滑地运行,力求区域路网车均延误最小,并尽可能减少路网交通阻塞。在低饱和交通状态下,相位差为车流在路段上的平均行驶时间,不随信号周期的变化而变化;近饱和交通状态下,相位差的优化需要考虑交叉口之间的车辆排队长度与拥挤程度^[21-24]。针对非机动车流影响条件下的区域路网,相位差的优化还需要考虑非机动车对路段机动车的干扰影响,因此设定直行方向为区域路网协调方向,不仅保证上游交叉口机动车队头车到达下游交叉口机动车队队尾的时刻恰好等于下游交叉口机动车流疏散波到达该车队队尾的时刻,而且当机动车流驶离上游交叉口后,依据路段受到非机动车阻滞干扰引起的延误,对区域路网相邻交叉口相位差进行优化,表示为

$$\theta_{n-1,n} = \frac{\delta_{n-1,n}}{V} - \frac{H U_l}{V} - \frac{H U_l}{w_{le}} + 0.5 Q_{l\max} t_{lm} \left(1 - \frac{v}{V}\right) \quad (20)$$

式中: $\delta_{n-1,n}$ 为相邻交叉口 $n-1$ 和 n 的间距; H 为车辆平均长度; U_l 为协调方向路段 l 进口道总排队机动车数; w_{le} 为路段 l 机动车流平均疏散波速。

2.2 模型求解

在非机动车影响下的区域交通信号控制优化模型对于节点较多的路网计算量级数增长,寻优过程的计算效率不高。采用遗传算法(Genetic Algorithm, GA)中的二进制方法进行染色体编码,通过选择、交叉、变异等步骤,快速实现适者生存与优胜劣汰遗传^[25-26],因此,本文采用遗传算法对上述模型进行求解。3个基本操作算子设计为:轮盘赌选择、二进制均匀交叉与随机变异。根据适应度函数设计要求,采用模型中目标函数的倒数作为本文遗传算法的适应度函数。图1为模型求解的设计流程,具体步骤如下。

Step 1: 初始化。初始进化代数 K 为 0,确定遗传算法的参数,包括种群规模、最大进化代数 M 、交叉概率和变异概率。

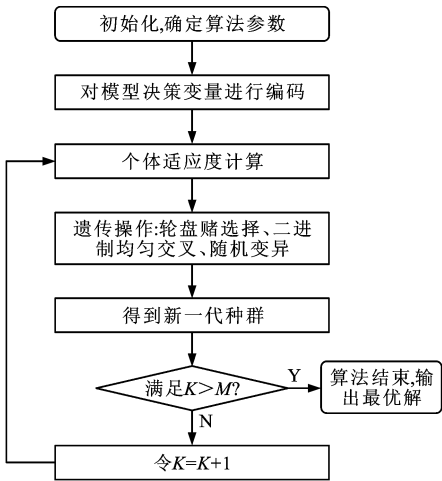


图 1 遗传算法流程

Fig. 1 Flow of genetic algorithm

Step 2: 编码。根据所求问题精度设定二进制染色体位数,对模型中决策变量进行二进制编码,一个二进制染色体对应一种交叉口信号周期时长与绿信比设置方案,随机设定初始群作为初始信号配时方案。

Step 3: 适应度计算。将得到的路段交通流代入目标函数中,计算种群各个体对应的适应度,作为评价个体的标准。

Step 4: 遗传操作。按照轮盘赌方法进行选择,将个体适应度按比例转化为个体选中概率,筛选出第 K 代种群,按照事先设定的概率对种群中个体进行二进制均匀交叉、随机变异,得到新一代种群。

Step 5: 终止检验。如果满足 $K > M$,算法结束,输出最大适应度的个体作为最优解,对应的周期、绿信比方案即为最终的信号设置方案;否则令 $K = K + 1$,转入 Step 3。

3 案例分析

以上海市杨浦区五角场环形区域路网为例,运用本文优化模型对非机动车影响下的区域交通信号控制进行优化。五角场环形区域位于杨浦区中心繁华地段,商业汇聚人流较多。区域路网见图 2,以环形交叉口 5 为中心,包括 5 条主干道,分别为邯郸路、四平路、黄兴路、翔殷路和淞沪路,共 8 个交叉口。图中以圆圈代表交叉口,相邻交叉口由路段连通。区域路网交叉口距离、车道数等参数见表 1,其中交叉口 1 为 2 相位信号控制,交叉口 2、4 为 3 相位信号控制,其他交叉口均为 4 相位信号控制。信号控制方案见表 2。交叉口 5 为五路环形交叉口,由路口信号灯和环路信号灯同时控制,非机动车通过地下通道完成过街,因此,本文优化模型暂不考虑交叉口 5。早高峰时段各交叉口不同流向的交通需求见表 3。

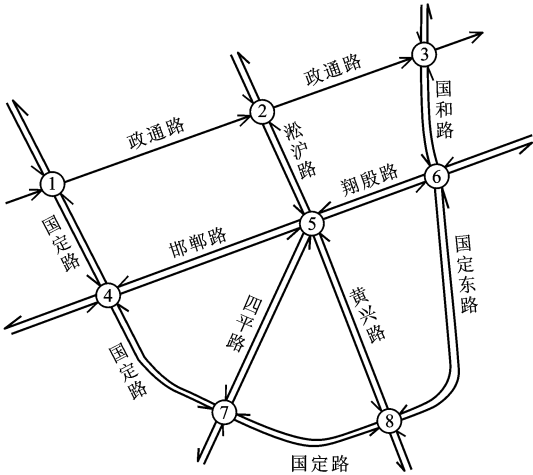


图 2 五角场环形区域路网

Fig. 2 Wujiaochang annular regional road network

表 1 路网参数

Tab. 1 Parameters of road network

路段序号	相邻交叉口	距离/m	车道数	方向	路段序号	相邻交叉口	距离/m	车道数	方向
1	1、2	709	1	单向	7	2、5	372	7	双向
2	2、3	530	5	单向	8	4、5	685	8	双向
3	1、4	374	3	双向	9	6、5	413	8	双向
4	4、7	535	5	双向	10	7、5	657	6	双向
5	7、8	552	5	双向	11	8、5	667	6	双向
6	6、8	881	7	双向	12	3、6	385	7	双向

利用 MATLAB 遗传算法工具箱编制整个控制算法程序。参数设置如下:交叉口信号周期时长最大值和最小值分别为 240、60 s;最大绿信比和最小绿信比分别为 0.8、0.2;主干道与次干道机动车饱和流量分别为 2 000、800 veh · h⁻¹;机动车与非机

动车平均行驶速度分别为 40、8 km · h⁻¹;非机动车车头空距为 0.5 m。遗传操作中交叉概率为 0.95;变异概率为 0.05;种群个数为 20;最大进化代数为 200。优化结果见表 4。运用本文优化模型对区域路网各交叉口交通信号控制参数进行优化,得到各

表 2 交叉口信号控制方案

Tab. 2 Signal control schemes of intersections

交叉口 编号	相位 1		相位 2		相位 3		相位 4		周期时长/ s
	控制方向	时长/s	控制方向	时长/s	控制方向	时长/s	控制方向	时长/s	
1		81		39					120
2		90		23		40			153
3		75		35		30		15	155
4		35		66		55			156
6		38		27		46		42	153
7		25		55		25		55	160
8		58		46		34		38	176

表 3 交叉口交通需求

Tab. 3 Traffic demands of intersections

veh · h⁻¹

交叉口 编号	东进口				西进口				南进口				北进口			
	机动车流量			非机动车 流量	机动车流量			非机动车 流量	机动车流量			非机动车 流量	机动车流量			非机动车 流量
	左转	直行	右转		左转	直行	右转		左转	直行	右转		左转	直行	右转	
1									697	269	93	150	93	625		96
2					134	208	180	103		917	478	196	974	974		163
3	271	10	36	93	205	115	654	107	512	470	215	116	725	725	45	97
4	210	506	160	193	467	944	116	223	53	367	48	83	416	416	100	103
6	182	650	233	164	486	849	135	186	80	331	128	104	274	274	216	109
7	99	229	37	86	145	247	79	85	111	729	87	190	966	966	72	175
8	302	170	60	91	92	262	363	108	201	972	230	187	947	947	67	174

表 4 优化后交叉口信号控制方案

Tab. 4 Signal control schemes of intersections after optimization

s

交叉口编号	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	周期时长	优化后相位差	优化前相位差
1	117	66			183	64	62
2	103	38	42		183	48	55
3	85	40	38	20	183	42	39
4	50	85	48		183	37	38
6	45	37	60	41	183	50	46
7	35	65	30	53	183	76	63
8	60	48	35	40	183	82	74

交叉口公共周期时长为 183 s。

基于 VISSIM 仿真软件进行评价分析,得到考虑非机动车影响的区域交通信号控制优化前后的效益对比,见图 3(不研究交叉口 5),可以得出:优化前区域路网不同交叉口的车均延误为 24.5~42.9 s,平均为 35.99 s,路网总延误为 256.39 h;优化后区域路网不同交叉口的车均延误为 21.8~36.4 s,平均为 30.12 s,路网总延误为 214.57 h,较现状车均延误均显著降低。可见运用本文优化模型对区域路

网进行优化控制后,控制效益明显提高。

区域路网车均延误减少率的对比见图 4,与现状控制方案相比,优化后不同交叉口车均延误减少率为 10%~24%,平均为 16.31%。可见,对路网进行区域交通控制的同时,考虑非机动车的干扰,能够有效降低区域路网车辆延误。

4 结 语

结合中国城市道路交通机非混行的特点,考虑

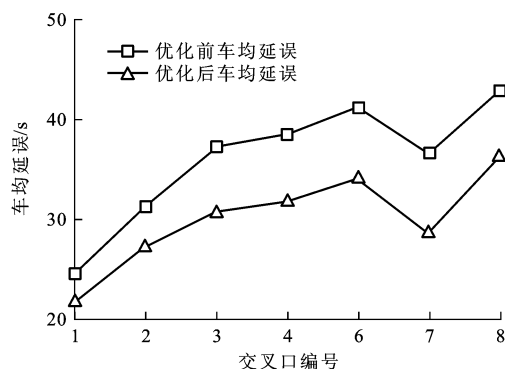


图3 车均延误对比

Fig. 3 Comparison of average each vehicle delays

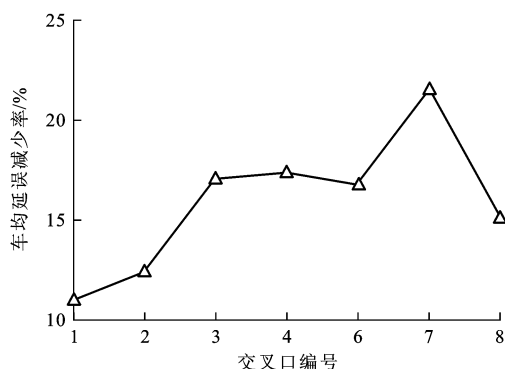


图4 车均延误减少率

Fig. 4 Decrement rates of average each vehicle delay

非机动车在交叉口与路段对机动车流运行的干扰,以区域路网机动车总延误最小为优化目标,建立了非机动车影响条件下的区域交通信号控制优化模型。考虑遗传算法具有较好的收敛性和较快的运算速度等特点,利用遗传算法对模型进行求解。分析结果表明,区域路网现状车均延误平均为 35.99 s,通过优化模型对路网交通控制方案优化后,路网机动车的车均延误平均为 30.12 s,与现状控制方案相比,车均延误减少率平均为 16.31%。优化模型能够显著降低区域路网机动车总延误,提高区域路网整体运行效率,有效改善区域交通流的运行状况,可见,优化模型具有实用性和有效性的特点。

本文从机动车的角度出发,以非机动车作为影响和约束进行了相关的控制策略优化,而机动车反过来对于非机动车影响的研究还存在欠缺。此外,本文未考虑行人特征对机动车时速变化与运行的影响,相关研究有待进一步探讨。

参考文献:

References:

[1] KHAN M, KOCKELMAN K M, XIONG Xiao-xia. Models for anticipating non-motorized travel choices, and the role of

- the built environment[J]. *Transport Policy*, 2014, 35: 117-126.
- [2] ROBERTSON D I, BRETHERTON R D. Optimizing networks of traffic signals in real time-the SCOOT method[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1991, 40(1): 11-15.
- [3] GARCÍA R, MARÍN A. Network equilibrium with combined modes: models and solution algorithms[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2005, 39(3): 223-254.
- [4] CHIOU S W. Optimization of robust area traffic control with equilibrium flow under demand uncertainty[J]. *Computers and Operations Research*, 2014, 41: 399-411.
- [5] 高云峰,胡 华,韩 皓,等.城市道路交叉口群信号协调控制多目标优化与仿真[J]. *中国公路学报*, 2012, 25(6): 129-135. GAO Yun-feng, HU Hua, HAN Hao, et al. Multi-objective optimization and simulation for urban road intersection group traffic signal control[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2012, 25(6): 129-135. (in Chinese)
- [6] 徐建闽,首艳芳,卢 凯.基于双层规划模型的交通信号区域协调控制[J]. *华南理工大学学报:自然科学版*, 2011, 39(3): 95-100, 106. XU Jian-min, SHOU Yan-fang, LU Kai. Area coordinated control of traffic signals based on bi-level programming model[J]. *Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition*, 2011, 39(3): 95-100, 106. (in Chinese)
- [7] 刘 芹,徐建闽.交通区域协调控制模型[J]. *交通运输工程学报*, 2012, 12(3): 108-112. LIU Qin, XU Jian-min. Coordinated control model of regional traffic signals[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2012, 12(3): 108-112. (in Chinese)
- [8] YANG Hai, YAGAR S. Traffic assignment and signal control in saturated road networks[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 1995, 29(2): 125-139.
- [9] 李水友,刘智勇.基于 D-S 证据理论的区域交通自适应协调控制[J]. *控制理论与应用*, 2005, 22(1): 157-160. LI Shui-you, LIU Zhi-yong. D-S evidence theory based adaptive control method for urban traffic network signal[J]. *Control Theory and Applications*, 2005, 22(1): 157-160. (in Chinese)
- [10] 梁 超,范炳全,韩 印.区域交通流协调控制方法[J]. *交通运输工程学报*, 2011, 11(3): 112-117. LIANG Chao, FAN Bing-quan, HAN Yin. Coordination control method of regional traffic flow[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2011, 11(3): 112-117. (in Chinese)
- [11] 魏 赞,邵 清.基于 Q-学习和粒子群算法的区域交通控制模型[J]. *系统仿真学报*, 2011, 23(10): 2108-2111. WEI Yun, SHAO Qing. Area traffic control model based on Q-learning and PSO[J]. *Journal of System Simulation*, 2011, 23(10): 2108-2111. (in Chinese)
- [12] 龙 琼,张谨帆,周昭明,等.基于 Q 学习的城区干线区域交通控制优化[J]. *铁道科学与工程学报*, 2014, 11(4): 141-145. LONG Qiong, ZHANG Jin-fan, ZHOU Zhao-ming, et al. Traffic control optimization of artery in urban area based on the Q-algorithm[J]. *Journal of Railway Science and Engineering*, 2014, 11(4): 141-145. (in Chinese)

- [13] 肖 超,余立建. 基于模糊理论的城市区域交通控制研究[J]. 交通科技与经济, 2014, 16(3): 68-71.
XIAO Chao, YU Li-jian. Area coordination control of urban traffic based on fuzzy theory[J]. Technology and Economy in Areas of Communications, 2014, 16(3): 68-71. (in Chinese)
- [14] 章如峰,杨义军,沈国江,等. 基于多目标模型的中饱和区域协调控制算法[J]. 信息与控制, 2014, 43(2): 134-140.
ZHANG Ru-feng, YANG Yi-jun, SHEN Guo-jiang, et al. Area coordinated control algorithm of mid-saturated traffic conditions based on multiobjective model[J]. Information and Control, 2014, 43(2): 134-140. (in Chinese)
- [15] 陈小红. 混合交通环境下城市道路交通信号控制优化模型研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
CHEN Xiao-hong. Research on signal control optimization model on urban road traffic under mixed traffic condition[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012. (in Chinese)
- [16] 陶志兴. 机非混行路段交通流特性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
TAO Zhi-xing. Research on characteristics of mixed vehicle-bicycle traffic flow on road section[D]. Changchun: Jilin University, 2007. (in Chinese)
- [17] 贾 宁,马寿峰. 考虑摩擦干扰的机非混合交通流元胞自动机仿真[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(2): 390-393.
JIA Ning, MA Shou-feng. Simulation of mixed traffic flow with friction interference using cellular automata[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(2): 390-393. (in Chinese)
- [18] 卢 凯. 交通信号协调控制基础理论与关键技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
LU Kai. Research on the foundational theory and key techniques of coordinate signal control in urban traffic network[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010. (in Chinese)
- [19] 孙明玲,杨 峰,贝登荣,等. 基于交通波动理论的排队消散时效分析[J]. 公路交通科技, 2013, 30(10): 112-116.
SUN Ming-ling, YANG Feng, BEI Deng-rong, et al. Analysis of queue dissipation time effect based on traffic wave theory[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013, 30(10): 112-116. (in Chinese)
- [20] 关 伟,何蜀燕,马继辉. 交通流现象与模型评述[J]. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12(3): 90-97.
GUAN Wei, HE Shu-yan, MA Ji-hui. Review on traffic flow phenomena and theory[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2012, 12(3): 90-97. (in Chinese)
- [21] 四兵锋,赵小梅,孙壮志. 城市混合交通网络系统优化模型及其算法[J]. 中国公路学报, 2008, 21(1): 77-82.
SI Bing-feng, ZHAO Xiao-mei, SUN Zhuang-zhi. Optimization model and its algorithm for urban mixed traffic network system[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(1): 77-82. (in Chinese)
- [22] MARISAMYNATHAN, PERUMAL V. Study on pedestrian crossing behavior at signalized intersections[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(2): 103-110.
- [23] 李润梅,汤淑明. 饱和路网中动态交通分配与路口控制一体化建模研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(8): 1811-1815.
LI Run-mei, TANG S. Integrative modeling study of dynamic traffic assignment and traffic control in saturated network[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(8): 1811-1815. (in Chinese)
- [24] 谷远利,于 雷,邵春福. 相邻交叉口相位差优化模型及仿真[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2008, 38(增): 53-58.
GU Yuan-li, YU Lei, SHAO Chun-fu. Phase-offset optimization model and simulation of adjacent intersections[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2008, 38(S): 53-58. (in Chinese)
- [25] ZHOU Zhan-hong, CAI Ming. Intersection signal control multi-objective optimization based on genetic algorithm[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(2): 153-158.
- [26] 梁昌勇,柏 桦,蔡美菊,等. 量子遗传算法研究进展[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(7): 2401-2405.
LIANG Chang-yong, BAI Hua, CAI Mei-ju, et al. Advances in quantum genetic algorithm[J]. Application Research of Computers, 2012, 29(7): 2401-2405. (in Chinese)