

DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201706174

考虑人均延误和人均排放的信号配时优化模型

刘 畅, 魏丽英

(北京交通大学 交通运输学院, 北京 100044)

摘 要: 为将绿色交通、公交优先等理念融入交叉口信号配时优化的建模策略当中, 建立以交叉口人均延误、人均 CO 排放为优化指标, 以各相位有效绿灯时间为自变量的多目标信号配时优化模型. 在人均延误公式中引入公交折减系数, 用以避免公交绝对优先对社会车辆通行效率的负面影响. 模型求解过程中运用模糊折中规划方法使量纲不同的两个目标函数实现无量纲化, 令其取值在 (0,1); 采用模糊偏好方法计算两个目标的隶属度函数的权重值, 进而将多目标函数转化为单目标函数; 然后利用自适应惯性权重和异步学习因子相结合的优化粒子群算法, 基于 MATLAB 软件平台实现单目标函数的求解; 最后将模型应用于实际案例, 对各目标值进行比较分析. 结果表明: 优化后人均延误下降了 0.94 s, 下降幅度为 3.87%. 人均 CO 排放量下降了 1.25 g, 下降幅度为 12.74%. 说明优化后的信号配时方案对于延误和排放具有优化作用, 验证了模型的有效性.

关键词: 城市交通; 信号配时; 模糊折中规划; 信号交叉口; 粒子群算法

中图分类号: U121 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2018)09-0083-06

Signal timing optimization model considering per capita delay and per capita emissions

LIU Chang, WEI Liying

(School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: To introduce the green traffic idea and the bus priority idea into the modeling strategy of signal timing optimization for intersections, a multi-objective signal timing optimization model varying with the phase effective green light time was proposed by considering the per capita delay and per capita CO emissions as the indexes. The bus deduction coefficient was introduced into the delay per capita to overcome the negative effect of absolute priority on private car. The fuzzy compromise method was used to transform the two objective functions of different dimensions into a single objective function, and to determine the values of two dimensions lie in (0,1). Fuzzy preference method was used to determine the membership function weights in the single objective function. The improved PSO (particle swarm optimization) which combines the SAPSO (self-adaptive particle swarm optimization) and the AsyLnCPSO (asynchronous learning-factor changing particle swarm optimization) were used to solve the single objective function based on the MATLAB software platform. Finally, the model was applied to an actual case and the target values were compared and analyzed. Results showed that the per capita delay reduced by 0.94s and decreased by 3.87% after optimization. The per capita CO emission reduced by 1.25g and decreased by 12.74%. The optimized signal timing scheme has an optimal effect on delay and emission, and the validity of the model was observed.

Keywords: urban traffic; signal timing; fuzzy compromise programming; signalized intersection; particle swarm optimization

交通拥堵和环境污染已成为许多国家和地区所面临的严峻挑战, 发展公共交通和控制尾气排放被认为是缓解这些问题的有效手段. 国内外已有很多学者展开这方面的研究, 如文献[1]在公交专用道不连续的情况下, 建立了信号配时优化模型; 文献[2]提出了一种分析公交信号优先策略(绿灯早启和绿灯延长)对于车辆延误影响的分析方法; 文献

[3]以总延误最小为目标优化信号周期, 依据相位乘客流量比和相位饱和度确定绿信比. 文献[4]根据公交车运行特性, 在单点配时模型基础上, 建立了定时式相邻交叉口的公交优先信号协调控制模型. 但在已有研究中, 评价指标多为车均延误、排队长度、通行能力等. 同时以人均延误替代车均延误指标, 以人均排放替代排放总量指标, 可以体现以人为本和公交优先的思想, 赋予公交一定的优先权, 故本文建立了既考虑人均延误, 又考虑人均排放的多目标信号配时优化模型, 在保证公交运行效益的同时,

收稿日期: 2017-08-16

作者简介: 刘 畅(1994—), 女, 硕士研究生;
魏丽英(1974—), 女, 副教授, 硕士生导师
通信作者: 魏丽英, lywei@bjtu.edu.cn

尽可能减少对环境的污染。

在对建立的多目标优化问题求解过程中,常常会遇到不同目标量纲不同,导致无法直接将其转化为单目标的问题,故如何将量纲不同的目标转化为量纲相同或无量纲的目标是学者们不断研究的课题。本文采用模糊折中规划方法将量纲不同的目标函数归一化处理,并通过模糊偏好方法确定各目标权重系数,从而将多目标模型转化为便于求解的单目标模型。

1 信号配时优化模型的建立

1.1 优化目标

1.1.1 人均延误 (目标 A)

人均延误为交叉口一个周期内的人总延误与参与交通的总人数的比值;人总延误为车均延误、车辆上的平均载客人数和信号周期的乘积。故依据经典 Webster 延误计算方法给出车均延误 d_i 的计算公式^[5]为

$$d_i = \frac{C(1 - \frac{g_i}{C})^2}{2(1 - \frac{g_i x_i}{C})} + \frac{x_i^2}{2q_i(1 - x_i)} - 0.65 \left(\frac{C}{q_i}\right)^{\frac{1}{3}} x_i^{(2 + \frac{sg_i}{C})}. \quad (1)$$

式中: d_i 为 i 相位每辆车的平均延误, s; C 为信号周期, s; g_i 为 i 相位有效绿灯时间, s; q_i 为 i 相位车流到达率, pcu/s; x_i 为 i 相位饱和度, 即 i 相位实际到达交通量与该相位进口道的通行能力之比。

人均延误需分别计算社会车辆和公交车辆的人总延误, 加和后除以交叉口一个周期内通过的乘客总数。故交叉口一个周期内的人均延误 d_p 的计算公式^[6]为

$$d_p = \frac{D_{BP} + D_{VP}}{C \cdot \sum_{i=1}^n (q_{B_i} P_B + q_{V_i} P_V)}. \quad (2)$$

式中: n 为交叉口相位数; d_p 为交叉口一个周期内的人均延误, s; D_{BP} 为公交车辆一个周期内的人总延误, s; D_{VP} 为社会车辆一个周期内的人总延误, s; q_{B_i} 为 i 相位上公交车辆的车流到达率, pcu/s; q_{V_i} 为 i 相位上社会车辆的车流到达率, pcu/s; P_B 为公交车辆的平均载客人数; P_V 为社会车辆的平均载客人数; 交叉口信号周期 C 为

$$C = \sum_{i=1}^n (g_i + l_i), \quad (3)$$

其中 l_i 为第 i 相位的损失时间, s。

忽略式(1)中取值较小的加减项, 将式(1)、(3)代入式(2)中, 展开公交车辆和社会车辆的人总延误, 化简得到由各相位有效绿灯时间 g_i (自变量) 和

易获得的各参数表示的人均延误展开式为

$$\min A = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\left(\sum_{i=1}^n (g_i + l_i) - g_i \right)^2}{2 \left(\sum_{i=1}^n (g_i + l_i) - g_i x_i \right)} \cdot (q_{B_i} P_B \rho + q_{V_i} P_V) \right\}}{\sum_{i=1}^n (q_{B_i} P_B + q_{V_i} P_V)}, \quad (4)$$

式中 ρ 为公交车辆折减系数。

以往在计算公交车辆人总延误时, 多是直接将公交载客数乘以公交车辆延误, 以达到公交优先的目的。但是这种处理方法会过高地给予公交车优先权, 非常不利于提高交叉口整体通行效率。本文引入公交车辆折减系数 ρ , 以适当降低公交车辆的优先权, 从而在一定程度上兼顾社会车辆的通行效益。

1.1.2 人均排放 (目标 B)

车辆行驶过程中产生的尾气排放污染物中主要有 CO、CH、 No_x 3 种, 研究表明我国机动车尾气排放对 CO、CH、 No_x 3 种污染物的贡献率分别为 70%、15% 和 15%^[7], 故尾气排放是 CO 的主要污染源, 在建模中考虑交叉口 CO 排放量可有效代表交叉口尾气排放量。交叉口尾气排放可分为各条进口路段的行车排放和车辆的怠速排放, 其中车辆在交叉口的怠速时间应为车辆停车延误时间, 故得到一个周期内车辆在交叉口的 CO 排放总量 E 的计算公式^[8]为

$$E_B = C \cdot \sum_{i=1}^n [E_{B_i}^{\text{pcu}} \cdot q_{B_i} \cdot J_i] + \frac{C}{3600} \sum_{i=1}^n [E_{I, B_i}^{\text{pcu}} \cdot q_{B_i} \cdot d_{SB_i}], \quad (5)$$

$$E_V = C \cdot \sum_{i=1}^n [E_{V_i}^{\text{pcu}} \cdot q_{V_i} \cdot J_i] + \frac{C}{3600} \sum_{i=1}^n [E_{I, V_i}^{\text{pcu}} \cdot q_{V_i} \cdot d_{SV_i}], \quad (6)$$

$$E = E_B + E_V. \quad (7)$$

式中: E 为交叉口一个周期内车辆的 CO 排放总量; E_B 为交叉口一个周期内公交车辆 CO 排放总量; E_V 为交叉口一个周期内社会车辆 CO 排放总量; J_i 为 i 相位进口车道长度, km; d_{SB_i} 为公交车辆的平均停车延误, s; d_{SV_i} 为社会车辆的平均停车延误, s; $E_{B_i}^{\text{pcu}}$ 为标准小汽车 CO 单位排放因子, g/(pcu · km); $E_{B_i}^{\text{pcu}}$ 为公交车辆 CO 单位排放因子, g/(veh · km); E_{I, V_i}^{pcu} 为标准小汽车 CO 怠速排放因子, g/(pcu · h); E_{I, B_i}^{pcu} 为公交车辆 CO 怠速排放因子, g/(veh · h)。

文献[9]的研究得到车均停车延误 d_s 与车均延误 d 的关系式为

$$d_s = 0.959d - 19.3. \quad (8)$$

将式(1)、(3)、(8)分别代入式(4)、(5)中, 展开车均延误和信号周期, 并将一个周期内的 CO 排放量除以乘客总数得到人均排放, 其展开式为

$$\min B = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (g_i + l_i) \cdot \sum_{i=1}^n J_i(E_{B_i}^{\text{pcu}} \cdot q_{B_i} + E_{V_i}^{\text{pcu}} \cdot q_{V_i}) + \frac{\sum_{i=1}^n (g_i + l_i)}{3600} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{0.959 \left(\sum_{i=1}^n (g_i + l_i) - g_i \right)^2}{2 \left(\sum_{i=1}^n (g_i + l_i) - g_i x_i \right)} - 19.3 \right) \right)}{\sum_{i=1}^n (q_{B_i} P_B + q_{V_i} P_V)}. \quad (9)$$

1.2 约束条件

该模型对于自变量的约束主要考虑以下 3 方面: 1) 各相位有效绿灯时间 g_i 不小于最短绿灯时间 $g_{\min}$; 2) 信号周期 C 取值在最短周期 $C_{\min}$ 与最长周期 $C_{\max}$ 之间; 3) 交叉口饱和度取值在阈值 λ_1 和 λ_2 之间(该阈值将在 3.1 数据采集和参数设置中给出). 故得到约束条件表达式为

$$\begin{cases} g_i \geq g_{\min}, 1 \leq i \leq n, \\ C_{\min} \leq \sum_{i=1}^n (g_i + l_i) \leq C_{\max}, \\ \lambda_1 \leq \frac{y_i}{\frac{g_i}{C}} \leq \lambda_2. \end{cases} \quad (10)$$

1.3 模糊折中规划方法处理量纲问题

本文拟采用模糊折中规划方法对两个目标进行无量纲化处理. 该方法在多目标信号配时模型中应用的具体步骤如下.

1) 标准形式的目标函数的转换. 本文在 1.2 中已将各目标函数转化为最小值的标准形式(以各相位的有效绿灯时间作为自变量), 见式(4)、(9).

2) 计算得到各目标函数在约束条件下由最小值组成的理想值向量 $X_{\min}$, 即

$$X_{\min} = (x_1, x_2) = (A_{\min}, B_{\min}), \quad (11)$$

计算得到各目标函数在约束条件下由最大值组成的反理想值向量为

$$X_{\max} = (x_1, x_2) = (A_{\max}, B_{\max}). \quad (12)$$

3) 按照下式定义各单目标函数的隶属度函数为

$$U = \begin{cases} 1, X_i \leq X_{\min}; \\ \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}}, X_{\min} < X_i < X_{\max}; \\ 0, X_{\max} \leq X_i. \end{cases} \quad (13)$$

$$U = (u_i)_{1 \times 2}. \quad (14)$$

4) 结合模糊偏好思想计算权重.

步骤 1 构造偏好矩阵 R_a 为

$$\begin{cases} R_a(i, j) = 0, R_a(j, i) = 2(t_i < t_j); \\ R_a(i, j) = 0, R_a(j, i) = 1(t_i < t_j); \\ R_a(i, j) = 1, R_a(j, i) = 1(t_i \approx t_j). \end{cases} \quad (15)$$

式中 t_i 为对第 i 个目标的偏好关心程度. 式(14)中, 当 t_i 远小于 t_j 时, 偏好矩阵中第 i 行第 j 列元素取 0, 第 j 行第 i 列元素取 2; 后两种取值方式原理相同. 高峰时段拥堵情况严重, 应优先考虑交叉口的延误, 在保障通畅的情况下再将尾气排放纳入考虑当中, 即: $t_2 < t_1$. 得到两个目标的偏好矩阵为

$$R_a = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (16)$$

步骤 2 根据 R_a 构造偏好关系矩阵 R 为

$$\begin{cases} R(i, j) = \gamma, R(j, i) = \gamma(R_a(i, j) = 1 \text{ 且 } R_a(j, i) = 1); \\ R(i, j) = \alpha, R(j, i) = \beta(R_a(i, j) = 0 \text{ 且 } R_a(j, i) = 1); \\ R(i, j) = \beta, R(j, i) = \alpha(R_a(i, j) = 1 \text{ 且 } R_a(j, i) = 0). \end{cases} \quad (17)$$

此处取 $\alpha = 0.25, \beta = 0.75, \gamma = 0.5$. 故得到偏好关系矩阵 R 为

$$R = \begin{pmatrix} \gamma & \beta \\ \alpha & \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.75 \\ 0.25 & 0.5 \end{pmatrix}. \quad (18)$$

步骤 3 由矩阵 R 定义有向带权重的图 $G(A, R)$, 此图出边值为

$$S_L(a, R) = \sum_{c \in A \setminus \{a\}} R(a, c). \quad (19)$$

步骤 4 计算权重系数为

$$\lambda(t_1) = \frac{S_L(t_1, R)}{\sum_{t_i \in T} S_L(t_i, R)} = \frac{0.75}{0.75 + 0.25} = \frac{3}{4}, \quad (20)$$

同理可得 $\lambda(t_2) = \frac{1}{4}$.

5) 依据模糊折中思想获得转化后的单目标函数为

$$L = \max \left[\sum_{i=1}^3 (\lambda_i u_i)^p \right]^{\frac{1}{p}}. \quad (21)$$

式中: L 为转化后的单目标函数; λ_i 为各目标函数的权重; p 为距离参数, 且 $0 \leq p \leq +\infty$.

关于 p 的取值, 许多学者已对其最优性展开研究, 分别在 $p = 1, 1 < p < +\infty$ 和 $p = +\infty$ 这 3 种情况下对实际问题求解, 并将结果对比分析, 得出结论一致为: 当 $p = +\infty$ 时, 获得的信号配时参数更优^[10]. 故本文基于前人研究, 设定 $p = +\infty$, 此时目标函数中 p 约掉, 公式化简为 Chebyshev 距离^[10], 对应的单目标函数公式为

$$L = \max \left[\min \sum_{i=1}^3 (\lambda_i u_i) \right]. \quad (22)$$

2 求解算法

本文选用优化的粒子群算法(自适应惯性权重和异步学习因子相结合)求解多目标模型,惩罚函数法处理约束条件,惩罚因子取 10^{15} [11].

标准粒子群算法的粒子根据式(23)、(24)来更新自己的速度和位置[12],即

$$v_{i,j}(t+1) = wv_{i,j}(t) + c_1r_1[p_{i,j} - x_{i,j}(t)] + c_2r_2[p_{g,j} - x_{i,j}(t)], \quad (23)$$

$$x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1), j = 1, 2, \cdots, D. \quad (24)$$

式中: $v_{i,j}(t)$ 为 t 代周期时粒子的速度向量; $x_{i,j}(t)$ 为 t 代周期时粒子的位置向量; c_1, c_2 为加速度因子,也被称为学习因子; w 为惯性权重系数,取值一般在 0.2~1.2 之间; r_1, r_2 为在 $[0, 1]$ 均匀分布的随机数.

为了平衡粒子的全局搜索能力和局部搜索能力,本文采用动态惯性权重系数方法实时更新惯性权重,更新公式为

$$w = \begin{cases} w_{\min} - \frac{(w_{\max} - w_{\min}) \cdot (f - f_{\min})}{(f_{\text{avg}} - f_{\min})}, & f \leq f_{\text{avg}}; \\ w_{\max}, & f > f_{\text{avg}}. \end{cases} \quad (25)$$

式中: $w_{\max}, w_{\min}$ 为 w 的最大值与最小值; f 为当前粒子的目标函数值; $f_{\text{avg}}, f_{\min}$ 为所有微粒的平均目标值和最小目标值.

由于微粒对个体历史最优值的学习追踪能力由 c_1 决定,其值越大粒子越会受个体最优值 p_{best} 的影响;微粒对全局最优值的学习追踪能力由 c_2 决定,其值越大粒子越会受全局最优值 g_{best} 的影响,故本文在算法中采用异步变化的学习因子,变化公式分别为

$$c_1 = c_{1\max} + (c_{1\min} - c_{1\max})t/M, \quad (26)$$

$$c_2 = c_{2\min} + (c_{2\max} - c_{2\min})t/M. \quad (27)$$

式中: $c_{1\max}, c_{2\max}$ 为学习因子最大值,通常取 2.5; $c_{1\min}, c_{2\min}$ 为学习因子最小值,通常取 0.5; t 为当前迭代次数; M 为最大迭代周期数.

3 实例验证

3.1 数据采集和参数设置

选取典型的四相位交叉口:北京市平安里西大街与赵登禹路交叉口作为案例交叉口.晚高峰时段交通混乱,东西方向拥堵较严重,信号配时有时需由交警手动调控.该交叉口的渠化示意图与相位图如图 1 所示,现状信号配时方案如图 2 所示,处理后的

晚高峰时段小时流量见表 1(其中社会车辆与公交车辆交通量均已换算为标准小汽车交通量).

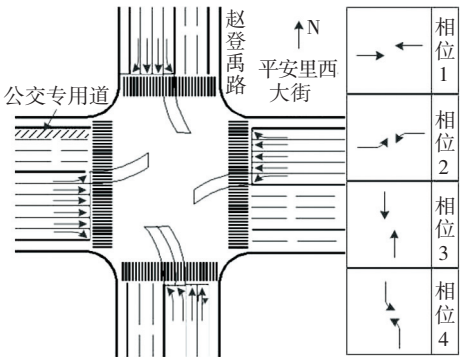


图 1 示例交叉口渠化示意图与相位

Fig.1 Schematic diagram and phase of channelized intersection

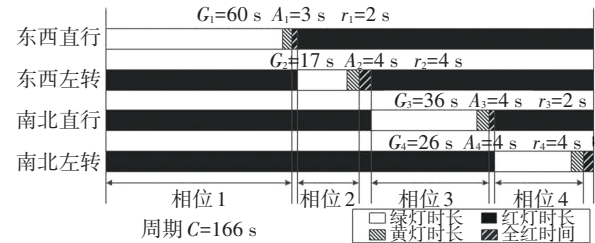


图 2 现状信号配时方案图

Fig.2 Current signal timing diagram

表 1 晚高峰时段小时流量

Tab.1 Evening peak hour flow pcu/h

进口方向	直行流量		左转流量		右转流量	
	社会车辆	公交车辆	社会车辆	公交车辆	社会车辆	公交车辆
东进口	1 702	53	246	0	262	0
西进口	1 269	62	118	0	317	0
南进口	452	20	349	1	263	0
北进口	479	17	228	0	197	0

经过计算和查阅相关文献,将模型中涉及到的各参数取值如下:各相位饱和流量、流量比、损失时间(全红时间与绿前、绿后损失时间之和)和关键车道组车道数如表 2 所示;社会车辆怠速排放因子 $E_{I, V_i}^{\text{pcu}} = 53 \text{ g}/(\text{pcu} \cdot \text{h})$ [13],公交车辆怠速排放因子 $E_{I, B_i}^{\text{pcu}} = 61 \text{ g}/(\text{veh} \cdot \text{h})$ [13],社会车辆 CO 行车排放因子 $E_{V_i}^{\text{pcu}} = 45 \text{ g}/(\text{pcu} \cdot \text{km})$ [14],公交车辆 CO 行车排放因子 $E_{B_i}^{\text{pcu}} = 47 \text{ g}/(\text{veh} \cdot \text{km})$ [15];通过计算,北京市主要公交车型额定载客量的平均值为 111 人,而案例交叉口同时存在单机公交车和铰接式公交车,且晚高峰时期客流量较大,故公交车辆的平均载客人数取 111 人较为合理;社会车辆的平均载客人数取 2.2 人;考虑公交车辆占用道路资源是一般社会车辆的 3~4 倍,公交折减系数取值 $\rho = 0.3$;该交叉口南北向人行横道长度约 60 m,东西向

人行横道长度约 45 m,代入行人过街经典公式(28)可得东西直行相位最短绿灯时间为 51 s,南北直行相位最短绿灯时间为 36 s;由相位损失时间和相位最大流量比获得最短周期 $C_{\min} = 127$ s,最长周期 $C_{\max} = 180$ s.

$$g_{\min} = 7 + \frac{L_r}{V} - I.$$

(28)

式中: L_r 为人行横道长度,m; V 为交叉口内行人步行速度,一般取 1.2m/s; I 为绿灯间隔时间,s.

表 2 各相位饱和流量、流量比、损失时间和关键车道组车道数
Tab.2 Saturated flow, flow-ratio, lost time, and the number of key lanes per phase

相位	饱和流量/ (pcu/h)	流量比	损失 时间/s	关键车道 组车道数
东西直行	5 292	0.331 6	4	3
东西左转	1 800	0.136 7	6	1
南北直行	3 492	0.204 8	4	2
南北左转	1 800	0.126 7	6	1

对于饱和度的约束条件,本文在现状信号配时方案下进行了阈值范围测算,分别计算出不同饱和度下的人均延误及 CO 排放总量. 如图 3 所示,当交

叉口饱和度 $x_i \leq 0.8$ 时,CO 排放量取值及变化幅度均较小,交叉口显现出的拥堵、污染等问题并不明显,优化交叉口信号配时需求性不大. 而当交叉口饱和度 $x_i \geq 0.93$ 时,交叉口人均延误和 CO 排放总量上升速率明显增加,运行状态处于过饱和状态,污染严重,此时若采取多目标信号配时优化方法很难得到理想的结果. 所以饱和度阈值 $\lambda_1 = 0.8, \lambda_2 = 0.93$, 即饱和度区间设置为(0.80,0.93).

3.2 模型应用

在 MATLAB 7.10.0(R2010a) 运行环境下,运用自适应惯性权重和异步学习因子相结合的优化粒子群算法对模型求解,参数设置情况如下:粒子数 N 为 50,学习因子最大值 $c_{1\max}$ 和 $c_{2\max}$ 为 2.5,学习因子最小值 $c_{1\min}$ 和 $c_{2\min}$ 为 0.5,权重最大值 $w_{\max}$ 为 1.2,权重最小值 $w_{\min}$ 为 0.2,迭代次数 M 为 500 次,变量个数 D 为 4 个. 应用 MATLAB 编程运算,得到优化后的信号配时参数为:周期 $C = 159$ s,第一到第四相位有效绿灯时间分别为 57、24、36、22 s. 将有效绿灯时间与绿前、绿后损失时间和黄灯时间相加减,得显示绿灯时间分别为 55、22、34、20 s. 信号配时方案如图 4 所示.

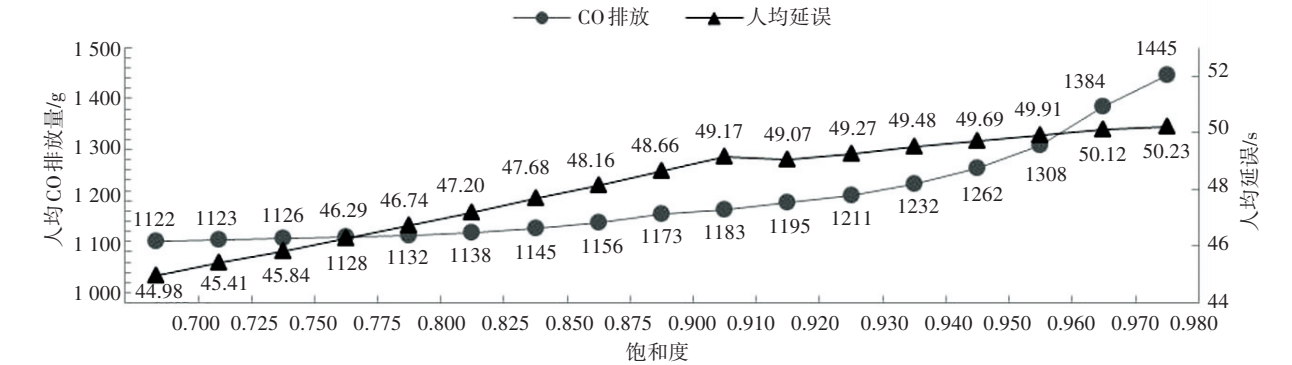


图 3 人均延误和 CO 排放量随饱和度变化曲线图

Fig.3 Curves of per capita delay and CO emission with saturation

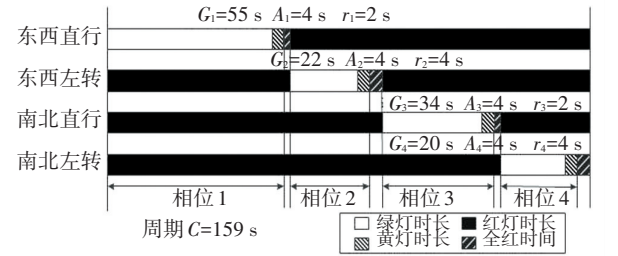


图 4 优化后的信号配时方案图

Fig.4 Optimized signal timing diagram

3.3 优化结果

将原信号配时方案中的各相位有效绿灯时间和经过优化的各相位有效绿灯时间分别代入式(4)、

(8),得到优化前后交叉口一个周期内的人均延误分别为 24.22、23.28 s,优化比例为 3.87%;人均 CO 排放量分别为 9.83、8.58 g,优化比例为 12.74%.

4 结 论

1) 对于前后配时方案的变化:现状周期为 166 s,优化后周期 159 s;现状周期有效绿灯时间为 147 s,优化后周期有效绿灯时间为 139 s,可以看出周期与周期有效绿灯时间均有所缩短.

2) 现状人均延误为 24.22 s,优化后人均延误为 23.28 s,下降了 0.94 s,下降幅度为 3.87%. 虽优化幅度不大,但晚高峰时期车流量较大,乘客人数多,

每小时交叉口总延误减少量十分可观,故优化后的信号配时方案对于延误具有优化作用.

3) 优化后人均 CO 排放量从 9.83 g 下降到 8.58 g,下降幅度为 12.74%. 可以看出人均排放下降幅度较大,与人均延误同理,在乘客总数较大的晚高峰,CO 排放总量将下降明显. 说明优化后的信号配时方案对于交叉口一个周期内的人均 CO 排放量具有很好的优化作用.

4) 所提出的交叉口信号配时优化模型具有提高交叉口通行效率,减少尾气排放的实际意义. 在算法研究中,今后也还可以进一步深入,如考虑改良粒子群算法而非使用惩罚函数法,来处理约束条件等.

参考文献

- [1] EICHLER M, DAGANZO C F. Bus lanes with intermittent priority: strategy formulae and an evaluation [J]. Transportation Research : Part B, 2006, 40(9) : 731
- [2] ZEESHAN R A, BRUCE R H. Analytical method for estimating the impact of transit signal priority on vehicle delay [J]. Journal of Transportation Engineering, 2011, 137(8) : 589
- [3] 张卫华, 陆化普, 石琴, 等. 公交优先的信号交叉口配时优化方法 [J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(3) : 49. DOI: 10.3321/j.issn:1671-1637.2004.03.012
ZHANG Weihua, LU Huapu, SHI Qin, et al. Optimal signal-planning method of intersections based on bus priority [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(3) : 49. DOI: 10.3321/j.issn:1671-1637.2004.03.012
- [4] 冯岩, 裴玉龙, 曹成海. 混合交通条件下单点公交优先信号配时研究 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(2) : 296. DOI: 10.3321/j.issn:0367-6234.2007.02.032
FENG Yan, PEI Yulong, CAO Chenghai. Study of single bus priority signal planning under the mixed traffic flow [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2007, 39(2) : 296. DOI: 10.3321/j.issn:0367-6234.2007.02.032
- [5] 袁振洲. 道路交通管理与控制 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2007: 163
YUAN Zhenzhou. Road traffic management and control [M]. Beijing: China Communication Press, 2007: 163
- [6] 降鑫月. 结合环境分析的交叉口交通控制策略研究 [D]. 北京: 北方工业大学, 2015
JIANG Xinyue. The research of intersection traffic control strategy combining environment [D]. Beijing: North China University of Technology, 2015
- [7] 王芳. 基于低碳交通的信号交叉口优化控制研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2014
WANG Fang. Research on signal timing of the road intersection based on low carbon transportation [D]. Changsha: Hunan University, 2014
- [8] 熊驰飞, 吕智林, 叶嫣. 考虑排放因素的公交优先信号控制优化方法研究 [J]. 交通信息与安全, 2012, 30(4) : 77. DOI: 10.3963/j.issn 1674-4861.2012.04.017
XIONG Chifei, LÜ Zhilin, YE Yan. Study on optimization method of bus priority signal control considering emission factors [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2012, 30(4) : 77. DOI: 10.3963/j.issn 1674-4861.2012.04.017
- [9] QUIROGA C A, BULLOCK D. Measuring control delay at signalized intersections [J]. Journal of Transportation Engineering, 1999, 125(4) : 277
- [10] 刘金明. 基于多目标规划的城市道路交叉口信号配时研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011
LIU Jinming. Research on signal timing of the urban road intersections based on multi-objective programming [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011
- [11] 余胜威. MATLAB 优化算法案例分析与应用 (进阶篇) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2015: 300
YU Shengwei. Analysis and application of optimization algorithm case in MATLAB (advanced) [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015: 300
- [12] 温正. 精通 MATLAB 智能算法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2015: 110
WEN Zheng. Proficient intelligent algorithm in MATLAB [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015: 110
- [13] 张丽莉. 面向资源约束的信号交叉口公交优先仿真建模 [D]. 北京: 北京交通大学, 2012
ZHANG Lili. Resource constraint-oriented intersection transit priority modeling and simulation [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012
- [14] 谢丽珠. 考虑车辆尾气排放因素的公交信号优先控制策略及微观仿真研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015
XIE Lizhu. Transit signal priority control strategy and microscopic simulation research considering vehicle exhaust emission factor [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015
- [15] 熊驰飞. 考虑排放因素的公交优先控制策略研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2012
XIONG Chifei. Research on optimization of priority control strategy considering emission factors [D]. Nanning: Guangxi University, 2012

(编辑 魏希柱)