

文章编号:1009-3087(2014)04-0111-09

十字交叉路口拥堵状态的公交优先控制策略

邱敦国¹, 胡 术¹, 王茂宁², 杨红雨¹

(1. 四川大学 计算机学院, 四川 成都 610065; 2. 四川大学 电气信息学院, 四川 成都市 610065)

摘 要:针对采用饱和度判定交叉路口交通拥堵存在滞后性问题,提出临界饱和和排队长度概念,并将相位起始时刻排队长度与临界饱和和排队长度的比值定义为排队拥堵率,通过排队拥堵率来判定路口交通拥堵状态,提出单向拥堵与双向拥堵情况下的公交优先策略,并采用 Vissim 软件仿真公交优先策略的可行性。通过仿真结果可以看出,实施公交优先,优先相位的车均延误与人均延误显著降低,而非优先相位的车均与人均延误略有增加,但整个相位周期的车均延误变化不大,而人均延误降低较多。研究结果表明,采用排队拥堵率判定交通拥堵,并在拥堵情况下实施公交优先具有可行性。

关键词:公交优先;临界饱和度;临界饱和排队长度;排队拥堵率;车均延误;人均延误

中图分类号:TP301.6

文献标志码:A

Bus Signal Priority Strategy in the Case of Traffic Congestion in Intersection

QIU Dunguo¹, HU Shu¹, WANG Maoning², YANG Hongyu¹

(1. College of Computer Sci., Sichuan Univ., Chengdu 610065, China;

2. School of Electrical Eng. and Info., Sichuan Univ., Chengdu 610065, China)

Abstract: In light of time lag when using degree of saturation to judge traffic congestion in the intersection, the concept of critical saturation vehicle queuing length was proposed, the ratio of the vehicle queuing length of phase start time and critical saturation vehicle queuing length was defined as vehicle queuing congestion rate, and vehicle queuing congestion rate was used to judge the traffic congestion in the crossroads, developing a bus signal priority strategy for bus transit. Vissim software was used to simulate the bus signal priority strategy and testify its feasibility. The simulation results showed that in comparison with non-priority strategy, the implementation of bus signal priority strategy can remarkably decrease the average vehicle delay and average person delay for priority phase, and the average person delay for the whole phase cycle, only slightly increase the average vehicle delay and average person delay for non-priority phase, and rarely change the average vehicle delay for the whole phase cycle, which shows that it is feasible to use vehicle queuing congestion rate to judge the traffic congestion of all direction in the crossroads and to implement bus signal priority strategy in the case of traffic congestion.

Key words: bus signal priority; saturation flow rate in vehicles; vehicle queue length; traffic congestion rate; average vehicle delay; average person delay

随着汽车快速增加,城市交通严重拥堵,事故频发,环境恶化,如何采用有效的方法提高公众出行的效率变得非常重要。公交优先策略对于缓解城市交通拥堵,提高公众出行效率,促进节能减排具有重大现实意义。

现有的公交优先控制策略,主要分为如下3类:

1) 被动优先。通过调整定时信号参数来实现

公交优先,如:缩短相位周期^[1]、相位截断^[2]、区域信号协调^[3]和限制社会车辆进入^[4]等。被动优先策略采用定时控制策略,对公交车比重大、交通流饱和度和小的交叉口比较适用,但它无法适应交通流的实时变化,对社会车辆影响较大。

2) 主动优先。动态调整信号参数来实现公交优先,如绿时延长、早绿、优先信号插入、相序变换等

收稿日期:2014-02-25

基金项目:国家“863”计划资助项目(2014AA110302)

作者简介:邱敦国(1973—),男,博士生,工程师。研究方向:智能交通;图像处理。E-mail:qiudunguo@163.com

http://jsuese.scu.edu.cn

策略。主动优先可分为绝对公交优先^[5-6](对有优先申请的所有公交车实施优先)和有条件公交优先^[7](对满足条件的有优先申请的公交车优先)。主动优先是一种动态控制方法,其控制策略的选择更多依据优先申请公交车的延误时长、信号灯状态等,很少考虑优先策略对社会车辆的负面影响。

3) 自适应优先。自适应公交优先^[8-13]是根据公交车实际到达情况,结合公交车晚点和路口交通状态,调整信号配时方案,在调整信号配时方案时,同时考虑了对社会车辆的负面影响,在保证社会车辆负面影响不是太大的情况下才进行公交优先。自适应优先因考虑了公交车优先情况下对社会车辆的影响,是目前公交优先的主要研究方向。

目前,国内外有很多学者都对自适应公交优先进行了相应的研究,都是在考虑减少对社会车辆的负面影响情况下,提出公交优先策略。王正武等^[10]提出了单交叉口自适应公交优先控制策略,该控制基于规则选择优先车辆及优先策略,基于优化确定信号参数,在规则中增加了效用判断准则以产生公交优先系统效益,引入优先措施选择规则以减少对社会车辆的负面影响。柳祖鹏等^[11]提出了一种基于绿灯需求度的相位切换决策流程,充分考虑公交车和社会车辆的到达、排队和等候情况,计算出考虑公交优先的绿灯需求度,并在此基础上进行相位切换决策,实现基于绿灯需求度的公交信号优先控制。王殿海等^[12]提出了干线公交信号优先的 2 层优化方法,该优先方式考虑实施公交优先对整个干线绿波带的影响,提出在不破坏协调相位绿波带的情况下采用绿灯延长或提前启亮方式为公交车提供信号优先。别一鸣等^[13]提出了饱和度约束的单点有限公交优先控制策略,采用饱和度参数来判断道路的拥堵情况,提出了在道路非拥堵情况下的公交优先策略。

由于计算相位的饱和度具有滞后效应,只有当车辆通过交叉路口后,才能计算当前相位的饱和度,而常规的饱和度计算,通常都是选用前一相位的通行情况作判断,因此,饱和度实时性不高。针对饱和度计算的滞后性问题,采用排队长度来判断道路的拥堵情况,并提出了在道路拥堵情况下的公交优先控制策略。

1 研究思想

公交优先的思想是通过调整路口信号参数,使通过路口提出优先申请的公交车能以最小的延误通

过路口,以保证公交车优先通行。在建立公交优先算法过程中遵循如下思想:公交优先为有条件优先,其实施需保证信号相位能以合理的方式分配绿灯时间,有效利用道路资源,在保证公交优先的情况下,合理考虑对社会车辆的影响。

基于以上思想,在实施公交优先时,将根据路口相位状态、路口各方向的拥堵情况对提出优先申请的公交车判断其是否具备优先条件,只对满足条件的优先申请车辆才实施公交优先。

2 条件定义

2.1 相位定义

研究的公交优先是基于一个十字交叉路口的单点优先,路口相位时序如图 1 所示,图中定义东西方向直行加右拐为相位 1,东西方向左拐为相位 2,南北方向直行加右拐为相位 3,南北方向左拐为相位 4。

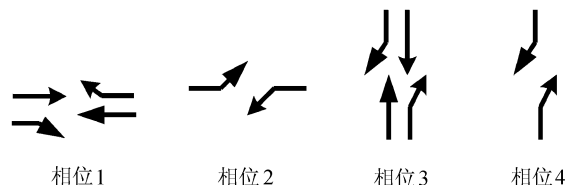


图 1 相位时序图

Fig. 1 Phase sequence diagram

2.2 条件假设

提出如下 3 个假定,并以该假定为基础前提进行研究。

假定 1 根据 2.1 节相位定义,直接将一个交叉路口假定为东西和南北 2 个方向,道路排队长度有 2 个方向,一个是东西方向,另一个为南北方向。

假定 2 假定东西方向(或南北方向)两边车辆的排队比较均衡,并定义东西方向的排队长度值 Q_1^1 为从东往西方向入口排队长度与从西往东方向入口排队长度的平均值,南北方向的排队长度值 Q_1^2 为从南往北方向入口排队长度与从北往南方向入口排队长度的平均值。

假定 3 假定所有车辆的行驶方向都严格按车道标志方向行驶,检测公交优先方向的排队长度为直接检测直行车道排队长度,无需考虑左拐相位排队长度形成的影响。

2.3 参数定义

定义 1(饱和度) 一个相位的实际通过流量 q 与该相位饱和流量 S 的比值。

定义 2(临界饱和度) 一个相位处于临界拥堵状态时的饱和度。

临界饱和度的取值根据文献[14]中建议取值0.95作为判断交通拥堵是否发生的指标,如果相位饱和度超过0.95,则认定该相位将发生拥堵。

由于相位的饱和度计算具有滞后效应,只有当车辆通过交叉路口后,才能计算当前相位的饱和度,而常规的饱和度计算,通常都是选用前一周期同相相位的通行情况作判断,因此,饱和度实时性不高,采用饱和度在相位起始时刻判断当前相位是否处于拥堵状态时,往往存在一定误差。

采用排队长度来替换饱和度,作为判断道路拥堵状态的参数。由于近年高清摄像机的大量应用,很多城市道路路口都采用高清摄像机检测车辆的排队长度,因此,排队长度的获取非常容易,准确性也比较高。由于排队长度检测具有实时性,采用排队长度参数作为道路拥堵的判断就比单纯用饱和度判断更能实时反应道路拥堵的实际情况。

道路饱和度 x 与路口排队长度 Q_1 、相位 i 周期内到达的车辆数 R_i 、通行能力 C 相关,而通行能力 C 又由饱和和流量 S 与绿信比 λ 决定。

饱和度的计算公式如式(1)所示:

$$X = \frac{Y}{C} = \frac{Y}{S\lambda} \quad (1)$$

式中, Y 为相位 i 通过的交通流量, S 为相位的饱和和流量, C 为相位的通行能力, λ 为相位 i 的绿信比。

排队长度与排队车辆数的等式关系如式(2)所示:

$$A_{ni} = m \frac{Q_1}{A_1} \quad (2)$$

式中, A_{ni} 为相位 i 起始时刻排队车辆数, m 为 i 相位过车的车道数, A_1 为排队平均车头间距,该值可假定为一常量值。

相位 i 在不受通行能力 C 影响下最多可通过车辆数为 N_i ,其计算公式如式(3)所示:

$$N_i = A_{ni} + R_{ni} \quad (3)$$

式中, R_{ni} 为相位 i 周期内到达的车辆数。

假定在每天同一时段,来车量为均衡到达,车辆的到达受时段不同而影响, R_{ni} 的计算公式如式(4)所示:

$$R_{ni} = \frac{T_i}{T_k} R_k \quad (4)$$

式中, T_i 为 i 的绿灯时间, T_k 为一固定长时间段,取 T_k 为5 min,因此,每天最多为288个时间段, k 的取值范围为1~288, R_k 为时段 K 到达路口的车辆数, R_k 的计算公式如式(5)所示,式(5)将当前时段前 S

天同一时间段流量的平均值作为本时段的流量, R_{jk} 天在 k 时段的车辆到达数量。

$$R_k = \frac{1}{S} \sum_{j=1}^S R_{jk} \quad (5)$$

定义3(临界饱和和排队长度) 相位饱和度处于临界饱和状态时,相位起始时刻路口的排队长度。

当定义相位的临界饱和度值为0.95时,则临界饱和和排队长度用 $Q_{10.95}$ 表示。

相位 i 处于临界饱和度时,通过路口车辆数计算如式(6)所示:

$$N_{i0.95} = 0.95C = 0.95S\lambda \quad (6)$$

由式(2)~(4)可计算相位 i 处于临界饱和度时通过车辆数,计算如式(7)所示:

$$N_{i0.95} = A_{ni} + R_{ni} = m \frac{Q_{10.95}}{A_1} + \frac{T_i}{T_k} R_k \quad (7)$$

由式(6)与(7)可得临界饱和和排队长度的计算公式为式(8),从式中可以看出,临界饱和和排队长度和来车紧密相关,当来车较多时,临界饱和和排队长度短,当来车较少时,临界饱和和排队长度长。

$$Q_{10.95} = \frac{A_1}{m} (0.95S\lambda - \frac{T_i}{T_k} R_k) \quad (8)$$

定义4(排队拥堵率) 相位起始时刻的排队长度与该相位临界饱和和排队长度的比值。

排队拥堵率用 ω_q 表示,其表达式如式(9)所示:

$$\omega_q = \frac{Q_1}{Q_{10.95}} \quad (9)$$

式中, Q_1 为相位 i 起始时刻排队长度, $Q_{10.95}$ 为相位 i 临界饱和和排队长度,排队拥堵率表示道路的拥堵程度,当其值大于1时,表示道路处于拥堵状态,其值小于1时,表示道路处于非拥堵状态。

为便于表达,设定公交优先方向的排队拥堵参数为 ω_q^{-1} ,非公交优先方向的排队拥堵参数为 ω_q^2 。

3 公交优先模型

研究的公交优先模型为单相位公交优先模型,即只对主要道路一个相位方向的公交实施优先。假定只对东西向直行的公交实施公交优先,即只对2.1节中定义的相位1实施公交优先。

公交优先模型对公交车的检测方式为:在离停车线后 L (单位:m)处安装公交车检测器,该检测器同信号灯控制系统相联,当公交车通过检测器时,一旦发出优先请求,检测器将公交请求信息发送到信号灯控制器,同时可以计算出公交车从检测器到停

车线的行程时间为 T_b (单位: s)。

研究的公交优先模型分为单向拥堵公交优先模型和双向拥堵公交优先模型。

3.1 单向拥堵公交优先模型

单向拥堵,是指只有一个方向处于拥堵状态,即一个方向排队拥堵率 $\omega_q < 1$,另一个方向排队拥堵率 $\omega_q \geq 1$ 。

如果 $\omega_q^1 < 1$,而 $\omega_q^2 \geq 1$,表明实施公交优先方向道路不拥堵,而没有实施公交方向的道路拥堵,这种情况如果实施公交优先,则会出现公交优先方向存在绿灯时间无车通过状态,而非公交优先方向车辆排队更长,道路趋向更加拥堵,这是一种不合理的道路资源分配,因此,该种情况下,当公交车提出优先申请时,将会不同意实施公交优先请求。

如果 $\omega_q^1 \geq 1$,而 $\omega_q^2 < 1$,表明实施公交优先方向道路拥堵,而不实施公交优先方向道路不拥堵,在该条件下实施公交优先,可以有效消散公交优先方向拥堵的车流量。

因此,所定义的单向拥堵模型,是特指 $\omega_q^1 \geq 1$,而 $\omega_q^2 < 1$ 情况下的拥堵模型。

单方向拥堵的公交优先模型采用绿灯延长、绿灯提前启亮 2 种优先策略实施公交优先,由于非优先方向道路处于非拥堵状态,当对公交优先相位进行绿灯延长或绿灯提前,无需对其他相位进行绿灯时间补偿。

单方向拥堵优先模型为:

公交车触发检测器时刻为 T_s ,到达停车线时刻 $T_e = T_s = T_b$,如果公交车到达停车线时公交优先相位正在显示绿灯(绿灯结束时刻为 T_{ge}),且 $T_e \leq T_{ge}$,则公交车能在绿灯结束前通过停车线,无需实施信号优先,保持原有配时方案不变即可;如果 $T_e > T_{ge}$,则本周需要给予当前相位绿灯延长,延长时间为 $T_{gp} = T_e - T_{ge}$,由于信号的绿灯时间延长不能无限制,有最大延长时间,设最大延长时间为 T_{gmax} ,如果 $T_{gp} > T_{gmax}$,则不能执行本次公交优先,本次公交优先申请取消,如果 $T_{gp} < T_{gmax}$,则对当前相位执行绿灯延迟,延迟时间为 T_{gp} 。

如果公交车到达停车线时公交优先相位正在显示红灯(红灯结束时刻为 T_{re}),且 $T_e \geq T_{re}$,则公交车将在红灯结束后通过停车线,无需信号优先,保持原有配时方案不变即可;如果 $T_e < T_{re}$,则需要给予当前相位绿灯时间压缩,将下一周期相位 i 的绿灯提前启亮。设当前绿灯相位为相位 j ,如果公交车触发检测器时刻相位 j 已运行的绿灯时间 T_{gj} 大于最小绿

灯时间 $T_{gmin,j}$,则立即结束相位 j 的绿灯,切换至下一个相位;否则,待相位 j 绿灯执行至 $T_{gmin,j}$ 结束后再切换至下一个相位。

相位 j 与 i 之间的相位 k 执行最小绿灯时间 $T_{gmin,k}$,使相位 i 下一周期绿灯尽早启亮,则相位 i 的下一个周期绿灯提前启亮的总时间为式(10):

$$T_{ga} = T_{gsj} + \sum_k T_{gsk} \quad (10)$$

式中: T_{gsj} 为相位 j 被压缩的绿灯时间,其计算方法见式(11):

$$T_{gsj} = \begin{cases} T_{gj} - T_{g run,j}, & T_{g run,j} \geq T_{g min,j}; \\ T_{gj} - T_{g min,j}, & T_{g run,j} < T_{g min,j} \end{cases} \quad (11)$$

式中, T_{gj} 为相位 j 初始分配时间, $T_{g run,j}$ 表示相位 j 已执行的绿灯时间, T_{gsk} 为相位 k 被压缩的绿灯时间,其计算方法见式(12):

$$T_{gsk} = T_{gk} - T_{g min,k} \quad (12)$$

单方向拥堵的公交优先模型的详细流程如图 2 所示。

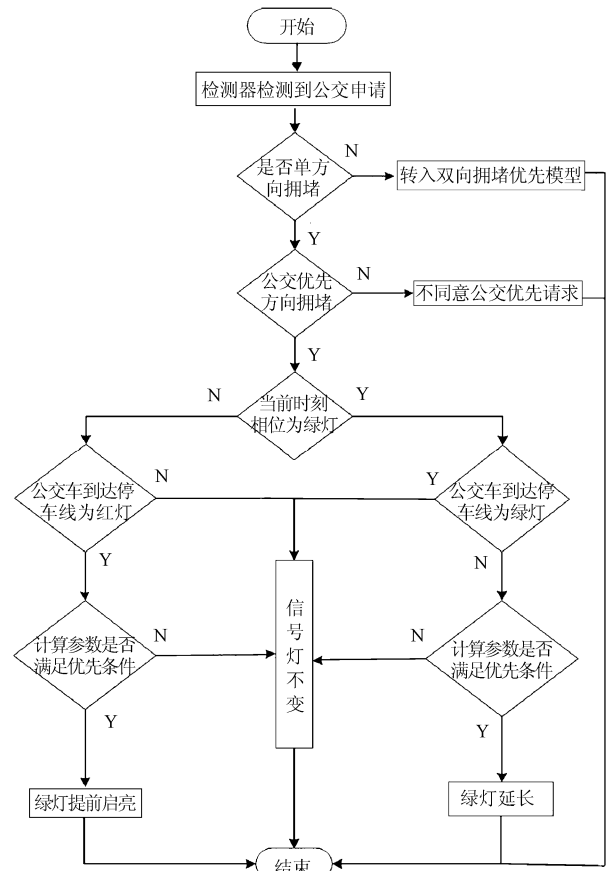


图 2 单向拥堵公交优先模型流程图

Fig. 2 Flow chart of bus signal priority model at single direction traffic congestion

3.2 双向拥堵优先模型

双向拥堵,是指公交优先方向与非公交优先方

向都处于拥堵状态,即 $\omega_q^1 \geq 1$ 和 $\omega_q^2 \geq 1$ 。根据公交方向与非公交方向的拥堵程度,分为2种优先模型。

1) 双向拥堵公交优先模型 1

是指公交优先方向拥堵情况比非公交优先方向拥堵情况更高,即 $\omega_q^1 \geq \omega_q^2$,此时实施公交优先模型为:

公交车触发检测器时刻为 T_s ,到达停车线时刻 $T_e = T_s + T_b$,如果公交车到达停车线时公交优先相位正在显示绿灯(绿灯结束时刻为 T_{ge}),且 $T_e \leq T_{ge}$,则公交车能在绿灯结束前通过停车线,无需信号优先,保持原有配时方案不变即可;如果 $T_e > T_{ge}$,则本周期需要给予当前相位绿灯延长,延长时间为 $T_{gp} = T_e - T_{ge}$,如果 $T_{gp} > T_{gp \max}$,则不能执行本次公交优先,本次公交优先申请取消,如果 $T_{gp} < T_{gp \max}$,则对当前相位执行绿灯延迟,延迟时间为 T_{gp} ,其他相位的绿灯时间继续保持不变。

如果公交车到达停车线时公交优先相位正在显示红灯(红灯结束时刻为 T_{re}),且 $T_e \geq T_{re}$,则公交车将在红灯结束后通过停车线,无需信号优先,保持原有配时方案不变即可;如果 $T_e < T_{re}$,则本周期需要给予当前相位绿灯压缩,将下一周期相位 i 的绿灯提前启亮。设当前绿灯相位为相位 j ,如果公交车触发检测器时刻相位 j 已运行的绿灯时间 T_{gj} 大于 $T_{g0.95j}$ (饱和度为0.95的绿灯时间),则立即结束相位 j 的绿灯,切换至下一个相位;否则,待相位 j 绿灯执行至 $T_{g0.95j}$ 结束后再切换至下一个相位。

相位 j 与 i 之间的相位 k 执行使其最小绿灯时间 $T_{g0.95k}$,使相位 k 绿灯尽早启亮,则相位 i 的下一个周期绿灯提前启亮的总时间见式(13):

$$T_{ga} = T_{gsj} + \sum_k T_{gsk} \quad (13)$$

式中: T_{gsj} 为相位 j 被压缩的绿灯时间,其计算方法见式(14):

$$T_{gsj} = \begin{cases} T_{gj} - T_{g \text{ run},j}, & T_{g \text{ run},j} \geq T_{g \text{ min},j}; \\ T_{gj} - T_{g0.95j}, & T_{g \text{ run},j} < T_{g \text{ min},j} \end{cases} \quad (14)$$

式中, $T_{g \text{ run},j}$ 表示相位 j 已执行的绿灯时间, T_{gsk} 为相位 k 被压缩的绿灯时间,其计算方法见式(15):

$$T_{gsk} = T_{gk} - T_{g0.95k} \quad (15)$$

双向拥堵公交优先模型 1 的详细流程如图 3 所示。

2) 双向拥堵公交优先模型 2

是指非公交优先方向拥堵情况比公交优先方向拥堵情况更高,即 $\omega_q^1 < \omega_q^2$,此时实施公交优先模型为:公交车触发检测器时刻为 T_s ,到达停车线时刻

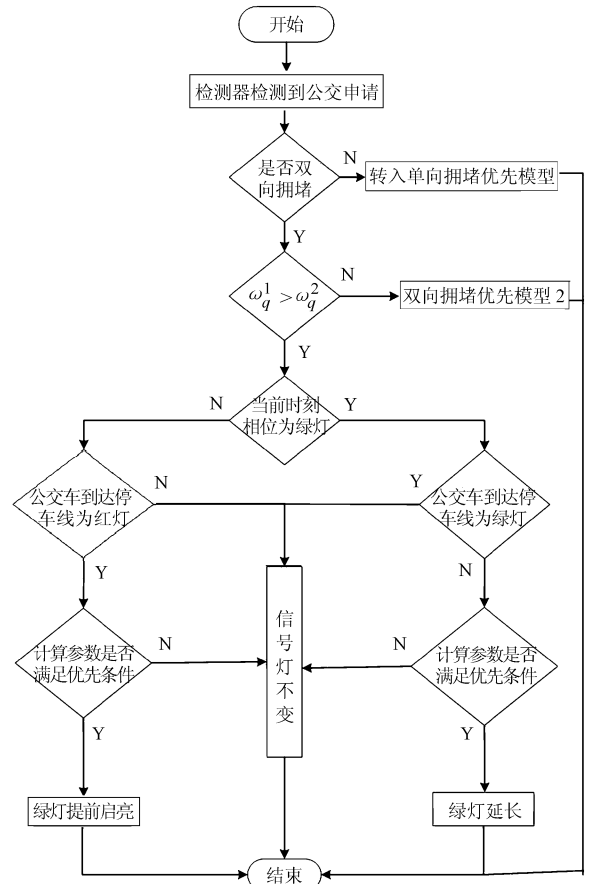


图 3 双向拥堵公交优先模型 1 流程图

Fig. 3 Flow chart of bus signal priority model 1 at two direction traffic congestion

$T_e = T_s + T_b$,如果公交车到达停车线时公交优先相位正在显示绿灯(绿灯结束时刻为 T_{ge}),且 $T_e \leq T_{ge}$,则公交车能在绿灯结束前通过停车线,无需信号优先,保持原有配时方案不变即可;如果 $T_e > T_{ge}$,则本周期需要给予当前相位绿灯延长,延长时间为 $T_{gp} = T_e - T_{ge}$,如果 $T_{gp} > T_{gp \max}$,则不能执行本次公交优先,本次公交优先申请取消,如果 $T_{gp} < T_{gp \max}$,则对当前相位执行绿灯延迟,延迟时间为 T_{gp} ,本周期其他相位的绿灯时间将作同步延迟改变,改变时间与公交优先相位增加的绿灯时间比例一致,本周期相位 $j(2 \leq j \leq 4, \text{设 } i \text{ 为第 } 1 \text{ 相位})$ 的绿灯时间修改如式(16)所示:

$$T_{gsj} = T_{gj} \times \frac{T_{gi} + T_{gp}}{T_{gi}} \quad (16)$$

由于公交优先后,导致非公交优先相位的绿灯被压缩,因此,需要对非公交优先相位在下一个相位周期进行绿灯补偿,补偿的时间为本相位周期该相位绿灯被压缩后的时间,下一周期非公交优先相位 j 的绿灯时间为:

$$T_{gnj} = T_{gj} + T_{gsj} \tag{17}$$

T_{gnj} 为下一周期相位 j 获得补偿后执行的绿灯时间, T_{gj} 为下一周期相位 j 预先分配的绿灯时间, T_{gsj} 为本周期相位 j 被压缩的绿灯时间。

双向拥堵公交优先模型 2 的详细流程如图 4 所示。

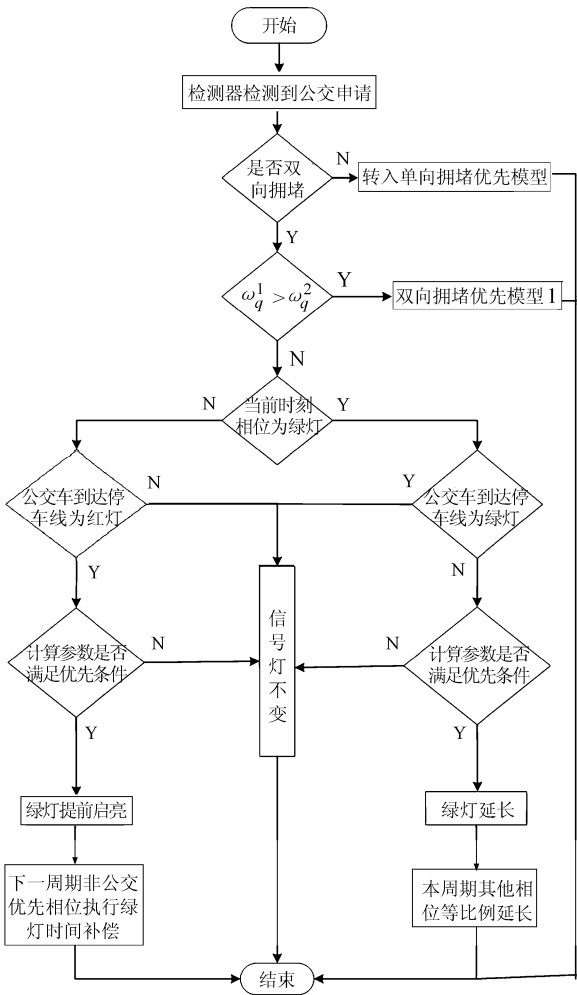


图 4 双向拥堵公交优先模型 2 流程图
Fig.4 Flow chart of bus signal priority model 2 at two direction traffic congestion

对于双向拥堵中, $\omega_q^1 = \omega_q^2$ 的特殊情况, 仍按双向拥堵模型 1 方式处理, 不作讨论。

4 验证分析

选取成都市武侯大道一个交叉路口的交通流数据, 采用 Vissim 软件仿真所提公交优先模型, 判断在拥堵情况下所提出的模型的可行性。

该路口的道路状况如图 5 所示, 公交优先方向为双向 8 车道, 设有公交专用车道, 非公交优先方向为双向 6 车道, 该路口由于交通量大, 经常出现交通拥堵情况, 本研究仿真其在拥堵情况下实施公交优先的数据情况。

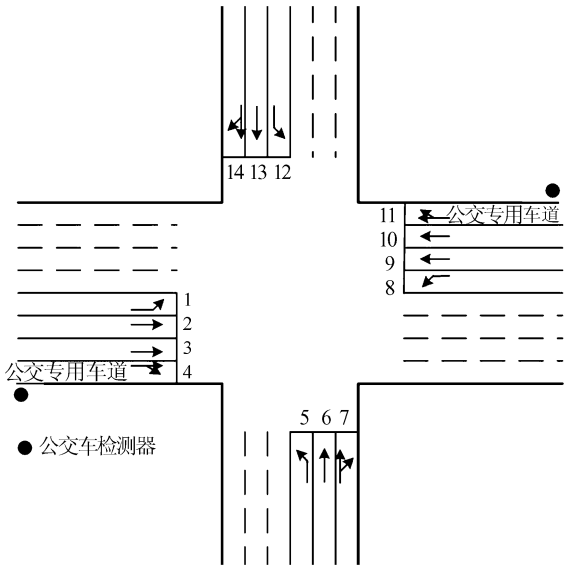


图 5 仿真路口的状态图

Fig.5 State diagram of simulation intersection
该路口相位时序图见图 1, 给予相位 1 对应的车道 4、11 到达的公交车实施信号优先, 公交车检测器布设在停车线后 100 m 处, 公交车从检测点到停车线的行驶时间设为 10 s, 各个车道饱和和流量为 1 800 pcu/h, 相位绿灯损失时间为 4 s, 公交车对标准小汽车的转换系数为 3, 相位临界饱和度设为 0.95, 交叉口信号周期为 150 s, 绿灯最小时间为 20 s, 绿灯最长时间为 60 s, 公交车均载客 40 人, 小汽车均载客 2.5 人, 排队车辆车头间距为 6 m/pcu, 假设东西向车流状况为直行、左拐、右拐的比例为 3:1:1, 南北向车流状况为直行、左拐、右拐的比例为 2:1:1。

该交叉口相位为固定相位, 相序方案及配时参数见表 1。

表 1 交叉口相位相序方案及配时参数
Tab.1 Phase diagram scheme and signal time parameters of intersection

相位时序		时间/s
相位 1 (东西直行)	绿	48
	黄	3
	红	99
相位 2 (东西左拐)	绿	30
	黄	3
	红	117
相位 3 (南北直行)	绿	32
	黄	3
	红	115
相位 4 (南北左拐)	绿	24
	黄	3
	红	123

为了验证所提3种拥堵情况下的公交优先模型的可行性,针对每种模型,设定2种公交优先策略,一种为绿灯延长,一种为绿灯提前启亮,并设定每种情况下的道路车辆状态,形成6个场景,各场景的状

态参数如表2所示,表2中的东西向排队长度为相位1起始时刻的排队长度,南北向排队长度为相位3起始时刻的排队长度。

表2 各场景参数
Tab.2 Parameters of all scenarios

状态参数			实施优先类型	绿灯延长 时间/s	绿灯提前 启亮时间/s	东西向排队 长度/m	南北向排队 长度/m	东西向到达率/ (pcu·h ⁻¹)	南北向到达率/ (pcu·h ⁻¹)
单向拥堵 模型	A1	绿灯延长		6	—	100	32	1 550	750
	A2	绿灯提前启亮		—	16	93	30	1 550	750
双向拥堵 模型1	B1	绿灯延长		6	—	130	80	1 650	880
	B2	绿灯提前启亮		—	12	120	83	1 650	880
双向拥堵 模型2	C1	绿灯延长		6	—	110	135	1 600	950
	C2	绿灯提前启亮		—	10	105	130	1 600	950

根据表2所示的6个场景,及每个场景的道路车辆状态,采用Vissim软件仿真,并统计在2个信号周期内,公交优先相位、非优先相位总和与整个信

号周期合计在实施公交优先与不实施公交优先的情况下通过路口车辆的车均延误和人均延误,具体评价指标如表3所示。

表3 各场景评价指标
Tab.3 Evaluation index of all scenarios

公交优 先模型	公交优 先场景	公交优 先策略	公交优先相位延误/s		其他相位总延误/s		信号周期总延误/s	
			车均延误	人均延误	车均延误	人均延误	车均延误	人均延误
单向拥 堵模型	A1	实施优先	148.3	106.7	66.1	65	108.5	87.8
		不实施优先	158.6	152.5	63.2	62.5	110.3	105.7
	A2	实施优先	141.5	120.4	63.2	63	90.4	88.3
		不实施优先	149.5	144.3	61.1	60.7	91.9	96.5
双向拥 堵模型1	B1	实施优先	208.8	150.2	162.3	160.4	187.8	156.2
		不实施优先	220.3	200.7	155	154.6	188.3	179.5
	B2	实施优先	200.1	163.4	163.3	161.4	186.1	165.2
		不实施优先	208.3	189.6	158.2	155.8	187	176.5
双向拥 堵模型2	C1	实施优先	168.8	124.9	236.3	235.1	210.4	180.8
		不实施优先	176.3	161.8	224.7	223.8	207.3	201.3
	C2	实施优先	162.1	139.3	233.5	232.7	207.6	189.2
		不实施优先	167.5	157.6	224	224.3	204.5	198.8

表4是实施公交优先与不实施公交优先(表3)相比,各场景的延误时间的增减百分率。

从表4可以看出各种模型场景的车均延误和人均延误情况。

1)单向拥堵模型

由于该模型的实施条件为公交优先方向处于拥堵状态,排队车辆较多,而非公交优先方向为非拥堵状态,排队车辆较少。在实施公交优先后,使公交优先相位的车辆得到更多的放行,相比不实施公交优先,该相位车均延误减少5.9%,人均延误减少

23.3%,而非公交相位,因为红灯等待时间延长,车均延误增加4.0%,人均延误增加3.9%,但由于公交优先方向排队车辆多,因此总体车均延误减少1.6%,人均延误减少12.7%。

2)双向拥堵模型1

由于该模型的实施条件为公交优先方向与非公交优先方向都处于拥堵状态,但公交优先方向排队拥堵率更高。在实施公交优先后,使公交优先相位的车辆得到更多的放行,相比不实施公交优先,该相位车均延误减少4.5%,人均延误减少19.5%,而非

公交相位,因为红灯等待时间延长,车均延误增加 3.9%,人均延误增加 3.7%,但由于公交优先方向

排队车辆多,因此总体车均延误减少 0.4%,人均延误减少 9.7%。

表 4 各场景实施公交优先后的延误减少率

Tab.4 Delay reduced rate of all scenarios after the application of bus priority strategy

公交优 先模型	公交优 先场景	公交优先相位延误/%		其他相位总延误/%		信号周期总延误/%	
		车均延误	人均延误	车均延误	人均延误	车均延误	人均延误
公交优先单向 拥堵模型	A1	6.4	30.0	-4.6	-4.0	1.6	16.9
	A2	5.3	16.5	-3.4	-3.8	1.6	8.5
	平均值	5.9	23.3	-4.0	-3.9	1.6	12.7
双向拥 堵模型 1	B1	5.2	25.1	-4.7	-3.7	0.3	12.9
	B2	3.9	13.8	-3.2	-3.6	0.5	6.4
	平均值	4.5	19.5	-3.9	-3.7	0.4	9.7
双向拥 堵模型 2	C1	4.2	22.8	-5.2	-5.0	-1.5	10.2
	C2	3.2	11.6	-4.2	-3.7	-1.5	4.8
	平均值	3.7	17.2	-4.7	-4.4	-1.5	7.5

3) 双向拥堵模型 2

由于该模型的实施条件为公交优先方向与非公交优先方向都处于拥堵状态,但公交优先方向排队拥堵率更低。在实施公交优先后,使公交优先相位的车辆得到更多的放行,相比不实施公交优先,该相位车均延误减少 3.7%,人均延误减少 17.2%,而非公交相位,因为红灯等待时间延长,车均延误增加 4.7%,人均延误增加 4.4%,但总体车均延误增加 1.5%,人均延误减少 7.5%。

从以上 3 种拥堵模型可以看出,实施公交优先对社会车辆的车均延误影响不是太大,前两种模型总体车均延误还有所降低,后一种模型也只是少量增加,但是 3 种模型的人均延误减少较多。因此,采用排队拥堵率判定交通拥堵,并在拥堵情况下实施合理的公交优先策略具有可行性。但是,以上拥堵模型都只考虑一辆公交车提出公交优先申请的情况下的仿真结果,当同时出现多个公交车提出优先申请时还没有予以考虑。在拥堵情况下,是否能够适合多个公交车提出申请,将是作者下一步继续研究的内容。

5 结 论

针对采用饱和度判定交叉路口道路拥堵存在滞后性问题,提出了用临界饱和排队长度和排队拥堵率来判定路口交通拥堵情况,并提出了单向拥堵与双向拥堵情况下的公交优先策略,并采用 Vissim 软件来仿真该优先策略在公交车提出优先申请时,实施公交优先的可行性。通过仿真结果可以看出,采

用排队拥堵率来判定交通的拥堵,并在拥堵情况下对提出优先申请的单辆公交车实施公交优先具有可行性,总体车均延误变化不大,而人均延误降低较多。

参考文献:

[1] Skabardonis A. Control strategies for transit priority[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,2000,1727(1):20-26.

[2] Garrow M, Machemehl R. Development and evaluation of transit signal priority strategies[C]//The 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington DC:Transportation Research Board,1998.

[3] Ma W J, Yang X G. A passive transit signal priority approach for bus rapid transit system[C]//Proceedings of Intelligent Transportation Systems Conference. Seattle: IEEE,2007:413-418.

[4] Urbanik II T. Evaluation of priority techniques for high occupancy vehicles on arterial streets[R]. College Station:Texas Transportation Institute, Texas A&M University,1977:38.

[5] Dion F, Hellinga B. A rule-based real-time traffic responsive signal control system with transit priority:Application to an isolated intersection[J]. Transportation Research Part B:Methodological,2002,36(4):325-343.

[6] Waterson B J, Rajbhandari B, Hounsell N B. Simulating

- the impacts of strong bus priority measures[J]. Journal of Transportation Engineering, 2003, 129(6): 642 – 647.
- [7] Furth P G, Muller T H J. Conditional bus priority at signalized intersections: better service with less traffic disruption[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2000, 1731(1): 23 – 30.
- [8] Ma Wanjiang, Wu Zhizhou, Yang Xiaoguang. A coordinated intersection-group bus signal priority control approach[J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(2): 105 – 111. [马万经, 吴志周, 杨晓光. 基于交叉口群公交优先协调控制方法研究[J]. 土木工程学报, 2009, 42(2): 105 – 111.]
- [9] Zhou G W, Gan A, Shen L D. Optimization of adaptive transit signal priority using parallel genetic algorithm[J]. Tsinghua Science and Technology, 2007, 12(2): 131 – 140.
- [10] Wang Z W, Xia L M, Luo D Y. Adaptive transit priority control at isolated intersection[J]. China Journal of Highway and Transport, 2010, 23(4): 84 – 90. [王正武, 夏利民, 罗大庸. 单交叉口自适应公交优先控制[J]. 中国公路学报, 2010, 23(4): 84 – 90.]
- [11] Liu Zupeng, Li Keping, Ni Ying. Isolated transit signal priority control strategy based on demand degree of green [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2013, 41(3): 408 – 414. [柳祖鹏, 李克平, 倪颖. 基于绿灯需求度的单点公交信号优先控制策略[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2013, 41(3): 408 – 414.]
- [12] Wang Dianhai, Zhu Hui, Bie Yiming, et al. Bus signal priority method at arterial signal progression[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2011, 41(4): 859 – 865. [王殿海, 朱慧, 别一鸣, 等. 干线公交优先信号协调控制方法[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2011, 41(4): 859 – 865.]
- [13] Bie Y M, Wang D H, Song X M, et al. Conditional bus signal priority strategies considering saturation degree restriction at isolated junction [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2011, 46(4): 657 – 663. [别一鸣, 王殿海, 宋现敏, 等. 饱和度约束的单点有限公交优先控制策略[J]. 西南交通大学学报, 2011, 46(4): 657 – 663.]
- [14] Rahmi A, Nagui R M. Estimation of delays at traffic signals for variable demand conditions [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 1993, 27(2): 109 – 131.

(编辑 杨 蓓)