

考虑物理排队的自适应公交优先信号设置

李曙光,魏靖雅,折胜军

(长安大学 电子与控制工程学院,陕西 西安 710064)

摘要:针对单点十字路口绿色交通的控制问题,给出一种考虑路段上公交车和小汽车物理排队的自适应公交优先信号优化设置方法。首先,描述了一个考虑公交车和小汽车相互作用的动态交通模型,该模型能够模拟车辆的物理排队现象,模型假设路段上的流量分为 2 种状态:一种是公交车和小汽车均为自由流状态,另一种是公交车和小汽车交织在一起的拥挤状态;然后,进一步给出在路段上小汽车和小汽车的延误计算方法,并以此为基础,以人均延误为性能指标计算优化的绿性比;最后,通过仿真方法给出了在低、中、高以及事故情况等几种不同交通拥挤条件下,公交优先信号的优化结果。研究表明:在低度拥挤的情况下,考虑公交优先问题并没有实质意义;在中度拥挤的情况下,考虑公交优先的信号配时方案能稍微改善乘客的行驶时间,减少路段排队;在高度拥挤的情况下,优化的绿性比会比固定绿性比好一些;当路口相关路段出现交通事故时,在不同拥挤状态下,优化绿性比能够比固定绿性比获得更多的效益。

关键词:交通工程;公交优先;物理排队;自适应控制;遗传算法

中图分类号:U491

文献标志码:A

Adaptive bus priority signal control considering physical queues

LI Shu-guang, WEI Jing-ya, SHE Sheng-jun

(School of Electronic and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: Regarding the green traffic control problem at single point intersections, an adaptive bus priority signal control method was presented with consideration of the physical queues of cars and buses on links. Firstly, a dynamic traffic model that could simulate the physical queues of vehicles was described considering the interaction between cars and buses. The flow conditions on link were divided into two classes: one was the un-congested condition, where buses and cars were in flow state; the other was congested condition, where buses and cars were intertwined together. Furthermore, the calculation method of buses and cars delay was proposed, and on this basis, the optimal green ratio was calculated according to average person delay. Finally, the optimized result of bus priority signal was given under several congested conditions. The results show that it is meaningless to consider bus priority under low congested condition. The signal method can improve the passengers' travel time and link queue under mid-congested conditions. The optimal green ratio is better than fixed green ratio under over-congested conditions. Optimal green ratio considering the effects of accidents can obtain more benefits than the fixed green ratio

收稿日期:2016-10-15

基金项目:国家自然科学基金项目(60804049);陕西省自然科学基金项目(2016JM5052);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014G2320005)

作者简介:李曙光(1974-),男,安徽郎溪人,教授,工学博士,E-mail:lxsg@vip.sina.com。

under different congested conditions. 6 tabs, 1 fig, 22 refs.

Key words: traffic engineering; bus priority; physical queue; adaptive control; genetic algorithm

0 引言

随着城市交通拥挤的不断加剧,通过公交优先策略提高公交系统的效率,以吸引更多使用公交出行,已成为减轻交通拥挤状况的重要手段。公交优先策略主要包括 2 种:一种是以空间优先为基础的公交专用路段、路口排队跳越车道等;另一种是以时间为基础的公交信号优先。

路口公交信号优先控制方法主要分为 3 类^[1-2]。第 1 类是被动优先,主要是根据历史数据和公交发车频率等因素确定周期长、绿性比以及相位差等指标;同时,被动优先控制也是进一步公交信号优先控制方法的基础。文献[3]、文献[4]给出了单个路口的被动优先控制方法;文献[5]进一步给出了在路网条件下,通过优化路口之间的相位差以减少公交使用者的出行费用。第 2 类是主动优先,主要是在现有路口信号的基础上,通过红灯早断、绿灯扩展以及相位插入等方法提高单个公交车通过路口的时间。由于单纯的主动公交优先方法可能会造成路口其他通行车辆延误,因此,研究者进一步提出了考虑公交到达延误状况的主动条件优先控制方法。对于主动公交优先的研究主要分为效益评估和优化设置。文献[6]使用 VISSIM 分析了单个路口的公交主动优先感应控制策略效益;文献[7]、文献[8]使用微观仿真模型对干线的公交优先方法以及相应的参数进行了评估研究;文献[9]使用考虑出行者出行选择行为的动态交通分配模型,评估了在路网条件下主动公交优先控制方法的效果;文献[10]、文献[11]给出了一种基于逻辑规则的单个路口的公交优先;文献[12]给出了考虑路口之间协调作用下基于干线的条件公交优先控制方法;文献[13]提出了考虑饱和度约束的单点公交优先控制策略。第 3 类是自适应优先控制,主要是通过道路上设置检测器获得公交车和其他类型车辆的交通信息,并以此为基础动态调整信号参数,以达到使公交车(乘客)优先的性能指标最优。而以乘客延误最小的自适应公交优先主要是从以车辆延误最小的自适应信号优先演化而来。文献[14]给出了单个路口通过基于规则的方法得到的实时交通控制参数;文献[15]进一步完善了前者的工作,融入了附加规则,并在更加广泛的条件下对系统进行了评估与测试;文献[16]为了反映有

优先请求的公交车到达,通过给相应方向上的到达交通需求相应的权重,并通过简单的线性规划方法获得优化的信号参数;文献[17]进一步结合基于规则与基于优化的自适应信号控制方法,设计了一种自适应公交优先控制方法;文献[18]给出了感应式信号控制系统中的自适应公交优先控制方法。

对于上述公交优先控制方法的效益评估和优化设计,其研究方法主要分为:现场试验、微观仿真和宏观解析方法等。现场试验主要通过收集公交信号优先项目实施前后的相关数据,如公交车延误、行程时间等,并以这些数据为基础计算相应的性能指标,再由此分析相关公交信号优先策略实施的优劣。然而,这种方法只能确定公交信号优先策略实施后的影响,没有办法确定如何优化相应的公交优先策略。微观仿真软件由于计算量较大,一般主要用于评估,很难用于实时的动态优化。相比较而言,解析分析方法所使用的宏观解析模型具有更快的计算速度、良好的数学结构以及易于数据标定等特点。

对公交优先控制进行研究的解析方法主要是基于单个公交车的点排队理论,如文献[19]、文献[20]给出了基于点排队理论评估绿灯扩展和红灯早断的公交优先策略的车辆延误解析模型,这种方法并没有考虑车辆真实的物理排队对公交延误的影响。文献[21]使用宏观交通流 LWR 模型给出了考虑车辆物理排队的公交车在不同公交控制策略下的车辆延误模型。然而,模型只考虑 1 辆公交车在车辆物理排队空间中的运行,并没有真正给出公交车与其他车辆在路段和路口相互作用的影响,而随着公交发车频率的提高,路网中公交车也呈现出流量特性,简单地假设公交车和其他车辆具有类似的特性,将低估公交车运行对路网中其他车辆的影响。为此,本文对基于物理排队条件下的公交车和小汽车相互作用的动态交通模型进行了研究,并以此为基础,给出了单个路口自适应公交优先控制方法;还使用遗传算法求解了自适应公交优先信号参数;最后,进行了仿真试验,验证了模型的有效性和可行性。

1 模型描述

模型中的变量定义: L_a 为路段 a 的长度; k_a 为路段 a 的拥挤密度; w_a^b 为路段 a 拥挤后向波的速度; w_{am}^f 为路段 a 公交车(小汽车)的自由流速度,其

中, $m = \{b, c\}$ 为公交车(b)和小汽车(c)的车型; p_m 为公交车(小汽车)的车辆换算系数; $S_a^{\text{in}}, S_a^{\text{out}}$ 为路段 a 的入口与流出能力(标准小汽车单位); $C_a^{\text{out}}(k)$ 为时间间隔 k 路段的流出能力(标准小汽车单位); $X_a(k)$ 为时间间隔 k 路段 a 公交车(小汽车)的可能入口流量; $Y_{am}(k)$ 为时间间隔 k 路段 a 公交车(小汽车)的可能出口流量; $u_{am}(k)$ 、 $v_{am}(k)$ 分别为时间间隔 k 路段 a 公交车(小汽车)的实际入口与出口流量; $U_{am}(k)$ 、 $V_{am}(k)$ 分别为时间间隔 k 路段 a 公交车(小汽车)的累计入口与出口车辆数; $q_{am}(k)$ 为时间间隔 k 路段 a 公交车(小汽车)的排队车辆数; $t_{am}(k)$ 为时间间隔 k 进入路段 a 的公交车(小汽车)穿越路段所花费的时间。

以文献[22]给出的模型为基础,给出考虑物理排队的情况下,描述公交车和小汽车相互作用的动态交通模型。首先给出公交车和小汽车相互作用的流量传播假设,假设路段上有 2 种流量状态:一种是自由流状态,即公交车和小汽车都根据自身的自由流速度运行;另一种是拥挤状态,路段中处于拥挤排队状态的公交车和小汽车由于车辆间距较小,不能通过加速超车来提高车速。此时公交车和小汽车的速度趋于一致,进而导致路段上只存在一种向后传播的流量波 w_a^b 向路段入口处延伸。

1.1 路段可能入口流量

可能路段入口流量(也称为路段入流能力)不但受到路段入流能力的限制,同时还可能受到路段中公交车和小汽车等车辆排队的影响,当路段出口处的多种车辆排队一直延伸到路段入口时,相应的可能路段入口流量 $X_a(k)$ 可以表示为

$$X_a(k) = \begin{cases} v_a(k - \frac{L_a}{w_a^b}) & U_a(k) > V_a(k - \frac{L_a}{w_a^b}) + k_a L_a \\ S_a^{\text{in}} & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $U_a(k)$ 、 $V_a(k)$ 分别为时间间隔 k 路段 a 的总累计入口与出口车辆数。

1.2 路段可能出口流量

由于公交车和小汽车的自由流速度是不一样的,在类似时间间隔进入路段的公交车和小汽车会在不同时刻到达路段出口处。因此,时间间隔 k 路段 a 中小汽车(公交车)的可能出口流量主要包括 2 个部分:一个是 $k - L_a / w_{am}^f$ 时刻路段 a 中小汽车(公交车)的入口流量 $u_{am}(k - L_a / w_{am}^f)$;另一个是时间间隔 $k - 1$ 由于路段出口拥挤未退出路段 a 的小汽车(公交车) $q_{am}(k - 1)$,相应的计算公式为

$$Y_{am}(k) = u_{am}(k - \frac{L_a}{w_{am}^f}) + \frac{q_{am}(k - 1)}{\delta} \quad \forall a, k, m = \{b, c\} \quad (2)$$

时间间隔 k 路段 a 中公交车和小汽车排队车辆数的计算如下

$$q_{am}(k) = \max\{0, \delta[Y_{am}(k) - v_{am}(k)]\} = \max\{0, q_{am}(k - 1) + \delta[u_{am}(k - L_{am} / w_{am}^f) - v_{am}(k)]\} \quad \forall a, k, m = \{b, c\} \quad (3)$$

式中: δ 为时间间隔长度。

路段总的可能出口流量 $Y_a(k)$ 等于各个模式的可能退出流量 $Y_{ai}(k)$ 乘以相应的车辆换算系数 p_i , 相应公式为

$$Y_a(k) = \sum_i p_i Y_{ai}(k) \quad (4)$$

1.3 实际路段出口流量

在时间间隔 k 小汽车(公交车)的实际路段出口流量计算如下

$$v_{am}(k) = \begin{cases} \frac{Y_{am}(k)}{Y_a(k)} C_a^{\text{out}}(k) & Y_a(k) > C_a^{\text{out}}(k) \\ Y_{am}(k) & \text{其他} \end{cases} \quad \forall a, k, m = \{b, c\} \quad (5)$$

式中: $C_a^{\text{out}}(k) = \min[S_a^{\text{out}}, X_d(k)]$, 其中, $X_d(k)$ 为时间间隔 k 下游路段 d 公交车(小汽车)的可能入口流量; $S_a^{\text{out}} = S_a g^i$, S_a 为路段通行能力, g^i 为路口相位 i 的绿性比。

1.4 公交车和小汽车的延误计算

根据路段上排队车辆数和拥挤密度之间的关系,得到路段排队长度的一种简单计算方法。前面假设路段上的拥挤排队处于最大拥挤密度情况下,因此根据在时间间隔 k 的总排队车辆数除以拥挤密度,得到在时间间隔 k 的多种车型混合排队的排队长度为

$$Q_a(k) = \frac{q_a(k)}{k_a} \quad (6)$$

式中: $q_a(k) = \sum_i p_i q_{ai}(k)$ 。

在时间间隔 k 瞬时路段行程时间包括 2 个部分:一个是路段非拥挤状况下公交车和小汽车根据自身速度特性行驶;另一个是公交车和小汽车处于拥挤状态,则

$$t_{am}(k) = \frac{L_a - Q_a(k)}{w_{am}^f} + \frac{q_a(k)}{C_a^{\text{out}}(k)} \quad \forall a, k, m = \{b, c\} \quad (7)$$

2 自适应公交优先模型

实时自适应的单个路口公交优先系统主要是最优化通过路口的乘客的延误时间,而不是先前许多

研究中考虑的车辆延误信息,因此给出相应的前提:
①假设 1 个简单的十字路口带有 4 个路段;②路段没有公交专用车道;③交叉口各个路段的上游都有检测器,可以得到公交车和小汽车的流量信息;④路口的周期是给定的且不变的;⑤路口有 2 个简单的相位。

考虑公交车和其他类型交通的影响,相应的性能指标为通过路口的人均延误 d_p 最小,即

$$\min(d_p) = \frac{\sum_{k,a,m} P_m u_{am}(k) t_{am}(k)}{\sum_{k,a,m} P_m u_{am}(k)} \tag{8}$$

相应的约束条件为

$$\sum_i g^i = 1 \tag{9}$$

$$g_{\min}^i \leq g^i \leq g_{\max}^i \tag{10}$$

式中: P_m 为公交车(小汽车)的乘客占有率; g_{\min}^i 、 g_{\max}^i 分别为路口相位 i 的最小、最大绿性比。

3 算法

采用遗传算法对交通信号优化控制模型求解。遗传算法模拟了自然选择和遗传过程中发生的复制、交叉和变异等现象,从任一初始种群出发,通过随机选择、交叉和变异操作,产生一群更适应环境的个体,使群体进化到搜索空间中越来越好的区域,这样一代一代地繁衍进化,最后收敛到一群最适应环境的个体,得到问题的最优解。

本文仅对简单的两相位信号进行优化,因此,设置优化变量时,只选择优化一个相位的绿性比,另一个相位的绿性比用 $1 - g^i$ 获得,这样就保证了约束条件式(10)的成立,且简化了计算。主要运算过程描述如下:

- (1)产生初始种群;
- (2)通过动态交通模型(式(1)~式(7))计算公交车和小汽车的延误,并进一步计算出相应的适应函数值;
- (3)收敛特性判断;
- (4)新种群的产生,计算每个种子的适应函数值,通过轮盘赌方法得到新的种群;
- (5)遗传算子的计算,通过种群中种子的交叉和变异运算,得到新的路径流量,然后返回第 2 步。

在上述第 5 步中,遗传交叉运算表示在遗传算法的种群优化过程中,种群中种子之间相互交叉部分的二进制编码;变异运算表示种群中部分种子的二进制编码会发生突变。通过这 2 个算子的运算可

增加算法的寻优能力。

4 仿真

在 1 个假设带有 4 个路段的单个路口进行仿真试验,路口布置如图 1 所示。主干路段为 1、3,次干路段为 2、4,相应的车道数都是 2,车道容量为 1 200 veh/h,主干路段 1 的长度为 1 km,次干路段 2 的长度为 0.5 km,路段 3、4 的长度均为 2 km。路上只有 2 种车型,分别是公交车和小汽车,对应的车辆换算系数为 2.5 和 1,车辆自由流行驶速度分别为 40、60 km/h,拥挤波后向速度为 15 km/h。路口周期长固定为 100 s,总共研究周期数为 10 个,总的研究时长为 1 000 s,路口仿真时长为 10 s,对应的时间间隔为 100。

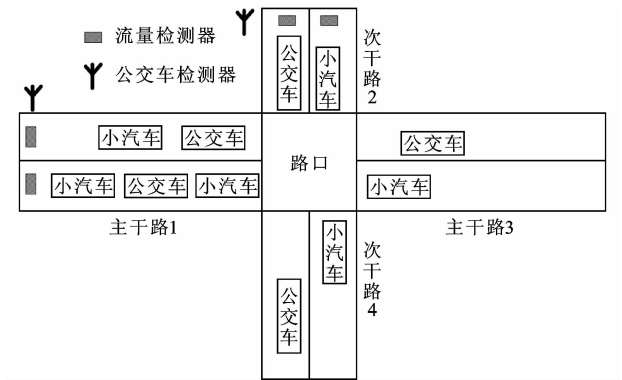


图 1 仿真路口

Fig. 1 Simulated intersection

路口的仿真需求分为低、中、高 3 种状态,对应的需求值见表 1。低需求对应路段上低度拥挤,即路段上有轻微的排队;中需求对应路段的中度拥挤,即路段排队较长;高需求对应的是拥挤破坏现象,即排队延伸到路口。

表 1 路口交通需求

Tab. 1 Traffic demand of intersection					veh
路段	车型	低需求	中需求	高需求	
主干路 1	小汽车	1 200	1 500	1 800	
次干路 2		640	800	960	
主干路 1	公交车	120	150	180	
次干路 2		80	100	120	

仿真试验主要分为 3 个部分:最优的固定绿性比、基于遗传算法的优化绿性比、事故条件下的优化绿性比等。

4.1 固定绿性比

先前许多研究都使用 Webster 方法计算固定配时绿性比,但是,本文给出的仿真中主要是对饱和状态下信号优化进行研究,Webster 方法并不适用

于饱和度较高的情况。因此,为了验证基于遗传算法的优化绿性比的可行性,首先计算固定绿性比条件下路口性能指标值的变化状况,性能指标主要包括主干路和次干路的车辆和乘客平均行驶时间、主干路和次干路的排队车辆数、总的车辆和乘客平均行驶时间及总的排队车辆数等。为了找到优化的固

定绿性比,使用枚举法计算最优的固定绿性比方案。相应的计算结果见表 2~表 4,分别对应低、中、高这 3 种需求状态。从表中可以看出:在低度拥挤状况下,0.65是最优的固定绿性比;中度拥挤状况下,0.55是优化的固定绿性比;高度拥挤状况下,0.50是优化的固定绿性比。

表 2 低拥挤条件下的固定绿性比对应的系统性能指标

Tab. 2 System performance indicators of fixed green ratio under un-congested condition

固定绿性比	排队车辆/veh			车辆平均行驶时间/s			乘客平均行驶时间/s		
	总排队	主干路	次干路	总平均	主干路	次干路	总平均	主干路	次干路
0.40	5 908	5 908	0	172.050	255.030	31.667	175.010	263.870	38.333
0.45	4 658	4 658	0	141.350	202.580	31.667	145.940	212.010	38.333
0.50	3 263	3 263	0	109.650	152.180	31.667	115.880	162.410	38.333
0.55	1 958	1 958	0	82.968	110.950	31.667	90.623	122.000	38.333
0.60	653	653	0	61.186	77.288	31.667	70.095	89.152	38.333
0.65	0	0	0	51.765	62.727	31.667	61.250	75.000	38.333
0.70	1 457	0	1 457	76.340	62.727	101.300	86.989	75.000	106.970

表 3 中拥挤条件下的固定绿性比对应的系统性能指标

Tab. 3 System performance indicators of fixed green ratio under congested condition

固定绿性比	排队车辆/veh			车辆平均行驶时间/s			乘客平均行驶时间/s		
	总排队	主干路	次干路	总平均	主干路	次干路	总平均	主干路	次干路
0.40	7 795	7 795	0	183.12	294.60	31.667	184.44	302.73	38.333
0.45	6 929	6 929	0	159.97	249.28	31.667	162.61	257.76	38.333
0.50	5 998	5 998	0	139.05	210.16	31.667	142.90	219.07	38.333
0.55	5 122	5 122	0	121.83	178.55	31.667	126.72	187.88	38.333
0.60	5 292	4 200	1 093	120.44	150.70	69.950	126.88	160.50	75.873
0.65	5 785	3 235	2 550	129.25	126.00	134.930	137.69	136.33	139.860
0.70	5 922	2 121	3 801	135.49	101.99	202.000	146.21	112.94	206.240

表 4 高拥挤条件下的固定绿性比对应的系统性能指标

Tab. 4 System performance indicators of fixed green ratio under over-congested condition

固定绿性比	排队车辆/veh			车辆平均行驶时间/s			乘客平均行驶时间/s		
	总排队	主干路	次干路	总平均	主干路	次干路	总平均	主干路	次干路
0.40	8 654	8 654	0	179.39	309.40	31.667	180.06	317.27	38.333
0.45	7 817	7 817	0	158.90	264.83	31.667	160.82	273.00	38.333
0.50	7 710	6 981	729	150.03	227.77	51.614	153.28	236.27	57.785
0.55	8 330	6 145	2 186	154.61	196.45	98.941	159.52	205.32	104.120
0.60	8 618	5 308	3 310	158.53	169.64	141.710	165.16	178.91	146.240
0.65	8 561	4 472	4 089	160.15	146.46	183.870	168.52	156.15	187.980
0.70	8 560	3 635	4 924	165.17	126.25	241.520	175.48	136.39	245.200

4.2 优化绿性比

使用遗传算法计算 3 种不同需求条件下的优化绿性比方案,其优化指标为基于平均车辆延误最小和考虑公交优先的乘客平均行驶时间。下页表 5 给出了优化的固定绿性比、平均车辆延误最小、和基于公交优先的平均乘客延误等指标条件下,路段上的车辆排队、车辆行驶时间、乘客行驶时间的分析结

果。从表 5 可以看出:在低需求的条件下,最优固定绿性比与优化车辆平均行驶时间及优化乘客平均行驶时间的分析结果都是类似的,路段上都没有排队,公交车和小汽车都可以按照自身的速度通过路口;在中、高需求的条件下,通过遗传算法计算的优化绿性比中总的排队车辆数、车辆平均行驶时间、乘客平均行驶时间等指标都比最优固定绿性比好。

表 5 优化绿性比
Tab. 5 Optimized green ratio

交通需求	优化指标	排队车辆/veh			车辆平均行驶时间/s			乘客平均行驶时间/s		
		总排队	主干路	次干路	总平均	主干路	次干路	总平均	主干路	次干路
低需求	最优固定绿性比(0.65)	0	0	0	51.76	62.72	31.66	61.25	75.0	38.33
	优化车辆平均行驶时间	0	0	0	51.76	62.72	31.66	61.25	75.0	38.33
	优化乘客平均行驶时间	0	0	0	51.76	62.72	31.66	61.25	75.0	38.33
中需求	最优固定绿性比(0.55)	5 121	5 121	0	121.80	178.50	31.66	126.70	187.8	38.33
	优化车辆平均行驶时间	4 936	4 534	402	116.30	158.70	47.80	122.10	168.4	54.19
	优化乘客平均行驶时间	4 887	4 624	264	115.10	160.10	42.52	120.70	169.7	49.01
高需求	最优固定绿性比(0.50)	7 709	6 981	729	150.00	227.70	51.61	153.20	236.2	57.78
	优化车辆平均行驶时间	7 458	6 946	511	144.80	220.80	49.89	148.30	229.4	56.21
	优化乘客平均行驶时间	7 443	7 024	418	145.00	224.20	46.44	148.30	232.7	52.82

同时,从表 5 中还可以看出:使用车辆平均行驶时间为优化指标和使用考虑公交优先特性的平均乘客行驶时间为优化指标时,在低需求和高需求的情况下基本是类似的,主要是因为低需求条件下车辆都没有遭遇拥挤,公交车与小汽车都可以按照自身特性行驶,没有必要考虑公交优先问题;而在高需求情况下,根据先前的假设,在拥挤条件下公交车和小汽车的行驶速度是趋于一致的,且在考虑物理排队的条件下,公交车和小汽车混合在一起,不可能出现超车的现象,因此考虑公交优先的乘客平均行驶时间指标实质上与车辆平均行驶时间的指标值是类似的;而在中需求情况下,使用考虑公交优先的乘客平均行驶时间得到的结果稍优于考虑车辆平均延误的指标。

从这个结果可以看出,基于物理排队的考虑公交优先特性的路口优化信号控制,并不是在任何情况下都会有比较好的结果。在低度拥挤的情况下,没有必要考虑公交优先问题,使用固定绿性比即可;在高度拥挤情况下,优化的绿性比优于固定绿性比,但以人均延误为指标的公交优先信号并不能比以车

辆延误为指标的路口信号配时更好地改善乘客的行驶时间,这主要是因为高度拥挤的情况下,各种车辆速度趋于一致,进而导致以车辆延误和乘客延误为指标得到的优化结果类似;在中度拥挤情况下,考虑公交优先的信号配时方案可稍微改善乘客的行驶时间,减少路段排队。

4.3 事故条件下的优化绿性比问题

进一步给出事故条件下优化绿性比的设置问题。假设在主干路段 3 的路口发生事故,导致路段 3 的入口容量在时间 0.28~0.55 h 内变为了 300 veh/h,从而导致了主干路段在一段时间内拥挤加剧。表 6 给出了事故条件下 3 种需求条件的固定绿性比和平均车辆延误最小和基于公交优先的平均乘客延误的相应性能指标。在低需求条件下,固定绿性比的性能指标与其余 2 种优化指标的分析结果类似。在中、高需求条件下,对性能指标进行优化能够有效地减少路段上的排队长度、车辆平均行驶时间和乘客平均行驶时间。同时,考虑车辆平均行驶时间与考虑乘客平均行驶时间的优化结果差异不大。

表 6 事故条件下的优化绿性比
Tab. 6 Optimized green ratio under the condition of accident

交通需求	优化指标	排队车辆/veh			车辆平均行驶时间/s			乘客平均行驶时间/s		
		总排队	主干路	次干路	总平均	主干路	次干路	总平均	主干路	次干路
低需求	最优固定绿性比(0.65)	2 148	2 148	0	96.109	131.26	31.667	103.24	142.19	38.333
	优化车辆平均行驶时间	2 148	2 070	79	96.027	129.26	35.105	103.29	140.23	41.718
	优化乘客平均行驶时间	2 148	1 882	267	96.713	125.77	43.446	103.26	136.86	49.931
中需求	最优固定绿性比(0.55)	6 328	6 328	0	161.660	248.58	31.667	164.41	257.15	38.333
	优化车辆平均行驶时间	6 090	5 711	378	152.840	221.78	47.499	156.68	230.67	53.908
	优化乘客平均行驶时间	6 099	5 817	282	153.120	225.46	43.279	156.77	234.29	49.753
高需求	最优固定绿性比(0.50)	8 524	7 796	729	193.200	312.10	51.610	194.20	320.20	57.780
	优化车辆平均行驶时间	8 061	7 444	617	180.970	287.99	53.804	182.72	296.28	60.051
	优化乘客平均行驶时间	8 099	7 514	585	182.090	292.25	51.542	183.68	300.50	57.810

5 结 语

(1)在低度拥挤情况下,没有必要考虑公交优先问题,使用固定绿性比即可;在高度拥挤情况下,优化的绿性比优于固定绿性比,但是,以人均延误为指标的公交优先信号并不能比以车辆延误为最小的路口信号配时更多地改善乘客出行时间;在中度拥挤情况下,考虑公交优先的信号配时方案可稍微改善乘客的行驶时间,减少路段排队。

(2)在事故条件下可以发现,通过优化中、高度拥挤状态下的绿性比,其优化结果比固定绿性比能够获得更多的效益,但是,考虑车辆平均行驶时间和乘客平均行驶时间的优化结果差异不大。

(3)考虑物理排队的情况下,当拥挤度比较高时,以出行者延误为最小的公交优先信号和以车辆延误为最小的信号并没有太大的差异,也就是说,不能通过公交信号优先手段减少乘客的延误。

(4)下一步研究可考虑将单一路口的公交优先控制问题扩展到普遍路网中,同时,可进一步研究以公交空间优先(如公交专用车道等)和公交时间优先相结合的组合优化方式问题。

参考文献:

References:

- [1] 马万经,杨晓光. 公交信号优先控制策略研究综述[J]. 城市交通,2010,8(6):70-78.
MA Wan-jing, YANG Xiao-guang. A review of prioritizing signal strategies for bus services[J]. Urban Transport of China,2010,8(6):70-78.
- [2] SKABARDONIS A. Control strategies for transit priority[J]. Transportation Research Record, 2000 (1727):20-26.
- [3] MA W J, YANG X G. A passive transit signal priority approach for bus rapid transit system[C]//IEEE. 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference. Bellevue;IEEE,2007:413-418.
- [4] 马万经,杨晓光. 基于车道的单点交叉口公交被动优先控制模型[J]. 中国公路学报,2010,23(5):96-101.
MA Wan-jing, YANG Xiao-guang. Lane based optimization model of passive bus priority control for isolated intersection[J]. China Journal of Highway and Transport,2010,23(5):96-101.
- [5] ESTRADA-ROMEU M, TRAPOTE C, ROCA-RIU M, et al. Improving bus travel times with passive traffic signal coordination[J]. Transportation Research Record,2009(2111):68-75.

- [6] 马万经,杨晓光. 单点公交优先感应控制策略效益分析与仿真验证[J]. 系统仿真学报,2008,20(12):3309-3313.
MA Wan-jing, YANG Xiao-guang. Efficiency analysis of transit signal priority strategies on isolated intersection[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20 (12):3309-3313.
- [7] NGAN V, SAYED T, ABDEL FATAH A. Impacts of various parameters on transit signal priority effectiveness[J]. Journal of Public Transportation, 2004, 7 (3):71-93.
- [8] DION F, RAKHA H, ZHANG Y. Evaluation of potential transit signal priority benefits along a fixed-time signalized arterial[J]. Journal of Transportation Engineering, 2004, 130(3):294-303.
- [9] ABDELGHANY K F, ABDELGHANY A F, MAHMASSANI H S, et al. Modeling bus priority using intermodal dynamic network assignment-simulation methodology[J]. Journal of Public Transportation, 2006, 9(5):1-22.
- [10] 徐洪峰,李克平,郑明明. 基于逻辑规则的单点公交优先控制策略[J]. 中国公路学报,2008,21(5):96-102.
XU Hong-feng, LI Ke-ping, ZHENG Ming-ming. Isolated transit signal priority control strategy based on logic rule[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(5):96-102.
- [11] XU H F, SUN J, ZHENG M M. Comparative analysis of unconditional and conditional priority for use at isolated signalized intersections[J]. Journal of Transportation Engineering, 2010, 136(12):1092-1103.
- [12] MA W J, YANG X G, LIU Y. Development and evaluation of a coordinated and conditional bus priority approach[J]. Transportation Research Record, 2010 (2145):49-58.
- [13] 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.
BIE Yi-ming, WANG Dian-hai, SONG Xian-min, 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.
- [14] YAGAR S, HAN B. A procedure for real-time signal control that considers transit interference and priority[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 1994, 28(4):315-331.