

文章编号: 1009-6825(2018)34-0007-02

考虑下游停靠站影响的交叉口公交优先信号控制优化研究*

陈悦新¹ 王业明¹ 曹伟²

(1. 南通理工学院 江苏 南通 226002; 2. 海安市交通运输局 江苏 南通 226600)

摘要: 为提升公交车辆在交叉口处的通行效率, 以乘客出行延误为优化目标, 构建下游停靠站影响下的交叉口公交优先信号控制优化模型, 有效降低了乘客出行总延误, 提高了公交车辆的通行效率。

关键词: 信号配时优化; 公交优先信号; 公交停靠站

中图分类号: U491

DOI: 10.13719/j.cnki.cn14-1279/tu.2018.34.004

文献标识码: A

0 引言

目前的研究在交叉口信号控制优化方面已取得一些成果, Christofa 将乘客总延误作为优化目标, 建立 MINLP 模型。Li 等人针对乘客延误和延误离散程度, 制定信号协调控制方法对交叉口信号配时进行优化。与此同时, 越来越多的学者开始研究下游公交停靠站与交叉口之间的相互影响。Gu 等人研究设置在交叉口下游的停靠站更容易减少公交车的延误。Li 等人利用绿灯延长、红灯早断、插入相位等公交优先策略对公交停靠站影响下交叉口公交优先信号配时方案进行优化。

本文将在前人研究基础上, 构建考虑停靠站影响的交叉口公交优先绿灯延长时间计算模型, 并制定配时优化方案。

1 优化建模

选取乘客出行总延误作为优化控制指标(饱和度 $x \leq 0.9$), 考虑运行时刻表影响下的停靠站对乘客延误离散分析, 构建交叉口优化模型。

$$\begin{cases} \min(d_{di} + d_{ds}) \\ \min \Delta d_{ds} \end{cases} \quad (1)$$

其中 d_{di} 为交叉口乘客出行延误 s ; d_{ds} 为下游公交停靠站乘客出行总延误 s ; Δd_{ds} 为下游公交停靠站处乘客延误离散差值 s 。

1.1 交叉口乘客出行延误分析

结合交叉口机动车和公交车流量及载客数, 计算交叉口乘客出行延误, 如式(2)所示。

$$d_{di} = \sum_{j=1}^J \bar{d}_i^j (q_i^j o_i + q_b^j o_b) \quad (2)$$

其中 J 为交叉口信号相位总数; q_i^j 为交叉口相位 j 的社会车辆流量 pcu/h ; q_b^j 为交叉口相位 j 的公交车辆流量 pcu/h ; o_i 为交叉口范围内社会车辆平均载客数, 人/辆; o_b 为交叉口范围内公交车辆平均载客数, 人/辆。

当交叉口饱和度较低时采用的 Webster 公式计算交叉口车辆延误公式如式(3)所示。

$$\bar{d}_i^j = \frac{c(1-\lambda^j)^2}{2(1-\frac{q}{S})} + \frac{(x^j)^2}{2q(1-x^j)} - 0.65(\frac{c}{q})^{\frac{1}{3}}(x^j)^{2+5\lambda^j} \quad (3)$$

其中 \bar{d}_i^j 为交叉口相位 j 的车均延误 s/pcu ; c 为交叉口信号周期 s ; q 为交叉口小时交通量 pcu/h ; λ^j 为交叉口相位 j 的绿信比; x^j 为交叉口相位 j 的饱和度。

当交叉口饱和度较大接近饱和状态时采用 HCM 计算车均延误的公式。

$$\begin{cases} \bar{d}_i^j = d_1 + d_2 \\ d_1 = 0.5c \frac{(1-\lambda^j)^2}{1-\min[1, x^j]\lambda^j} \\ d_2 = 900T \left[(x^j - 1) + \sqrt{(x^j - 1)^2 + \frac{8ex^j}{CAP_j \times T}} \right] \end{cases} \quad (4)$$

其中 d_1 为均匀延误 s/pcu ; d_2 为随机附加延误 s/pcu ; CAP_j 为交叉口各车道通行能力 pcu/h ; T 为分析时段持续时长 s ; e 为交叉口信号控制校正系数。

1.2 停靠站乘客出行延误分析

在公交停靠站产生的乘客出行延误主要包括在公交停靠站候车产生的延误和公交到站后车内乘客等待上车过程产生的延误。

1) 停靠站乘客延误分析。

乘客在公交停靠站等待乘客到达过程以及公交到站后乘客上车过程如图1所示。图1中 O 点为前一辆公交车离开公交停靠站的时刻, A 点为公交车到达公交停靠站的时刻, B 点为公交车在停靠站完成乘客上下客服务离开的时刻, $h(t)$ 为乘客到站时间人数分布函数, $f(t)$ 为公交车到站后停靠站乘客上车人数时间分布函数, t_d 为停靠站候车乘客上车时间, 图1中的 t_f 为同一条公交线路前后两班公交车离开公交停靠站时间间隔。

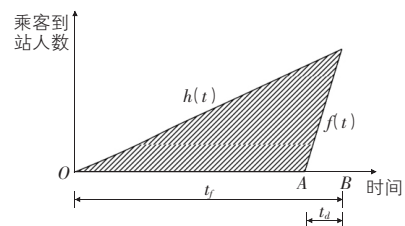


图1 停靠站乘客到站候车过程示意图

候车乘客在公交停靠站产生的延误即为图1阴影部分, 其计算公式如式(5)所示。

$$d_{ds}^{op} = \int_0^{t_f^{mn}} (t_f^{mn} - t) h^{mn}(t) dt - \int_0^{t_d^{mn}} (t_d^{mn} - t) f^{mn}(t) dt \quad (5)$$

其中 d_{ds}^{op} 为乘客在下游公交停靠站处等待第 m 条公交线路的第 n 班公交车辆候车延误 s 。

假设单位时间内乘客到达公交停靠站候车且公交车到达停靠站后的乘客上车过程均服从均匀分布, 单位时间公交停靠站处等待公交车辆到达的乘客等待延误(包括所有乘客等待所有公交线路的延误)如式(6)所示。

$$d_{ds}^{lp} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N d_{ds}^{op} \quad (6)$$

收稿日期: 2018-09-26 ★: 创新条件建设计划-重点实验室(CP12015005)

作者简介: 陈悦新(1992-), 女, 硕士, 助教

其中 μ_{ds}^p 为在停靠站等待公交车辆到达的乘客候车延误 s 。

2) 车内乘客延误分析。

单位时间内公交车辆停站后车内乘客的等待延误如式(7)所示。

$$d_{ds}^b = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N t_d^{mn} O_b^{mn} \quad (7)$$

其中 μ_{ds}^b 为公交车辆停站后乘客上下车过程中车内乘客的等待延误 s ; O_b^{mn} 为第 m 条公交线路的第 n 班公交车平均载客人数, 人/车。

2 停靠站对乘客延误离散分析

通过比较公交车辆按照时刻表的延误和公交车辆实际运行延误,可以得到公交车辆按照时刻表行驶产生的延误离散程度,如式(8)所示。

$$\Delta d_{ds} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (|d_{ds}^{mn} - d_{ds}^{'mn}|) \quad (8)$$

其中 μ_{ds}^{mn} 为道路中实际运行的第 m 条公交线路的第 n 班公交车的乘客在下游停靠站处出行延误 s ; $d_{ds}^{'mn}$ 为按照时刻表运行的第 m 条公交线路的第 n 班公交车的乘客在下游停靠站处出行延误 s 。

3 案例分析

选取南京市草场门大街一行健路交叉口 2017 年 3 月 8 日交通量进行现状调查,表 1 为实地调查所得交叉口现状交通流量。

表 1 草场门大街一行健路交叉口现状交通流量

进口道	社会车辆/辆			公交车辆/辆		
	左转	直行	右转	左转	直行	右转
西进口	108	1 189	119	0	89	8
东进口	185	777	103	0	88	0
南进口	104	23	151	0	0	0
北进口	—	—	—	—	—	—

注:表 1 中 “—”表示无交通流量,由于北进口由南向北单行

交叉口现状信号配时如图 2 所示。

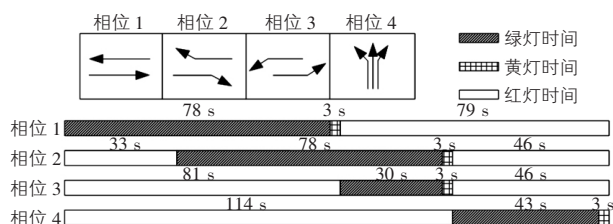


图 2 草场门大街一行健路交叉口现状配时图

根据实际调查的草场门大街一行健路交叉口交通数据计算交叉口属于低饱和状态,且社会车辆未溢出,选择交叉口低饱和状态下的车均延误计算公式来实现公交优先控制,优化后的信号配时方案中相位 1 公交优先绿灯延长时间为 7 s。将交通数据代入模型中,得到表 2 优化后的交叉口延误和停靠站延误。

3 月 8 日的公交离散程度的差值如表 3 所示。

表 2 乘客延误降低程度对比分析

方案	交叉口乘客延误/s			下游停靠站乘客延误/s		
	社会车辆乘客延误	公交车辆乘客延误	总延误	乘客候车等待延误	车内乘客等待延误	总延误
现状方案	300 735	126 249	426 984	107 159	22 094	129 253
优化方案	281 367	113 083	394 450	103 539	21 742	125 281
降低比例/%	6.88	11.64	8.25	3.38	1.59	3.07

表 3 公交车辆运行延误离散程度表(2017.3.8)

方案	乘客候车延误	车内乘客等待延误	乘客总延误	延误离散程度
时刻表运行方案	71 400	17 866	89 266	—
现状方案	107 159	22 094	129 253	39 987
优化方案	103 927	21 859	125 786	36 520

注:表 3 中 “—”表示无延误离散程度

结合高峰期调查的草场门大街一行健路交叉口和龙江小区公交停靠站的交通特征参数,搭建仿真环境,对 2017 年 3 月 8 日交通特征数据进行 VISSIM 仿真。优化前后整个优化控制区域乘客出行总延误,如表 4 所示。

表 4 草场门大街一行健路交叉口乘客延误对比分析

方案	社会车辆乘客延误	公交车辆乘客延误	乘客总延误
现状仿真方案	247 858	101 462	349 321
优化仿真方案	235 956	92 132	328 088

结合表 4 可知,交叉口社会车辆乘客延误和公交车辆乘客延误较优化后降低 5.0%、10.1%,交叉口乘客总延误较优化后乘客出行延误降低 6.5%,与模型计算结果类似,表明下游停靠站影响的交叉口公交优先信号配时模型具有适用性。

本文在前人研究交叉口公交信号优先的基础上,将停靠站对交叉口的影响考虑在内,建立了公交优先信号控制优化模型,为国内外学者及相关部门的研究做出了贡献,在以后的研究中将进一步研究交叉口的双向公交优先信号配时优化。

参考文献:

- [1] CHRISTOFA Eleni, PAPAMICHAIL Ioannis, SKABARDONIS Alexander. Person-Based Traffic Responsive Signal Control Optimization[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 2013, 14(3): 1278-1289.
- [2] LI Rui, CHEN Yuexin, YUAN Li, et al. Transit Signal Priority Optimization under Arterial Signal Coordinated Control Conditions[A]. Cota International Conference of Transportation Professionals[C]. 2016: 1241-1253.
- [3] GU Weihua, GAVAH Vikash, CASSIDY Michael, et al. On the Impacts of Bus Stops Near Signalized Intersections: Models of Car and Bus Delays[J]. Transportation Research Part B: Methodological 2014, 68(7): 123-140.
- [4] LI Rui, JIN Peter, RAN Bin. Bi-objective Optimization and Evaluation for Transit Signal Priority Strategies at Bus Stop-to-Stop Segment[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2016 2016(1925): 1-12.

Transit signal priority optimization of intersections with the effects caused by downstream bus stop★

Chen Yuexin¹ Wang Yeming¹ Cao Wei²

(1. Nantong Institute of Technology, Nantong 226002, China;

2. Traffic and Transportation Bureau of Hai'an, Nantong 226600, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of bus traffic at intersections, passengers' travelling delay is taken as the optimization goal, and the transit signal priority optimization of intersections with the effects caused by downstream bus stop is constructed. The model effectively reduces the total passenger travel delay and improves the efficiency of the transit vehicle at the intersection.

Key words: signal timing optimization, transit signal priority, bus service stop