

基于上游出口检测的公交优先信号控制

丁建梅¹, 王常虹², 蒋贤才³

(1. 哈尔滨工业大学 机电工程学院, 哈尔滨 150001; 2. 哈尔滨工业大学 空间控制与惯性技术研究中心, 哈尔滨 150001; 3. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 哈尔滨 150090)

摘要:针对城市中心区部分主干道受道路条件和交通条件限制不能开辟公交专用道的情况, 为了能在这些干道上开展公交优先信号控制, 提出在上游交叉口的出口设置交通流检测器, 基于实时检测数据对公交车等大型车辆通过下游交叉口停车线的时间区间进行估计, 合并所有公交车通过下游交叉口停车线的时间区间, 形成若干公交车队在交叉口停车线的运行图式, 用该图式同交叉口主干道方向信号运行图式比较, 决定该方向信号相位的绿灯时间延长或红灯提前结束, 以实现有条件公交优先信号控制。交通仿真表明:该方法除使交叉道路上的车辆延误有所增加外, 车均延误有所降低, 且公交车延误下降幅度较大。

关键词: 交通运输工程; 公交优先; 信号控制; 交通流检测; 交通仿真

中图分类号: U491.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5497(2009)Sup. 2-0126-05

Method of signal control of urban public transit priority based on traffic flow detection at exopt of upper intersection

DING Jian-mei¹, WANG Chang-hong², JIANG Xian-cai³

(1. School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Space Control and Inertial Technology Research Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 3. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Aimed at the case that there is no place for opening up bus lanes limited by the road conditions and traffic conditions in the center area of city, in order to carry out the signal control of urban public transit priority on these roads, the traffic flow detectors are set up at the export of upper intersection, the time interval of bus and other big vehicles to go through the stop line of downstream intersection is estimated based on the real-time collection data, a series of bus operation schema at the stop line of downstream intersection are formed by merging each bus' time interval, by comparing with the signal operation schema of arterial direction to determine the green signal extension or red light ahead of arterial direction in order to achieve urban public transit priority. Traffic simulation results show that the mean delay of all vehicles reduce and the bus' delay decrease larger in addition to the mean delay of cross-road vehicle increase.

Key words: engineering of communication and transportation; urban public transit priority; signal control; traffic flow detection; traffic simulation

收稿日期: 2009-05-10.

基金项目: “973”国家重点基础研究计划项目(2006CB705505); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(200802131012).

作者简介: 丁建梅(1962-), 女, 副教授, 博士. 研究方向: 交通信号控制. E-mail: djm801@126.com

1 客运干道交通信号控制方法

1.1 基本思想

对于客运干道,因大型车主要为大型客车,在信号交叉口处,受车速低、自由行驶空间小等限制,大型车与小型车在加速度、起动损失时间、平均车速等方面差异很小;进入路段后随着自由行驶空间的增大,二者间的车流运行特征差异才逐渐显现出来。

城市干道大型客车绝大部分由公交车组成,吸引市民选择公交出行并体现市民参与交通的公平性,这是此类信号控制的基本思想。因此,在客运干道上宜采取公交优先的信号控制方法。

1.2 控制策略

目前,国内外采取的公交优先信号控制策略分为被动优先、主动优先和实时优先三类^[1]。

(1) 被动优先

国内,吴建平提出了三种交叉口预信号公交优先方案并给出了每种方案的信号配时及延误计算方法^[2]。季彦婕针对预信号公交优先,将公交候驶区长度、信号灯先红时间和先绿时间纳入考虑,分别对有、无公交专用候驶区下的公交优先信号控制效益进行了评价^[3]。

国外,英国伦敦安装了许多公交优先预信号系统,但现有预信号控制方法也给公共汽车和非优先车辆的通行问题带来了一些不利影响^[4],主要表现在交叉道路相位配时方案的处理上,造成交叉道路上的车辆等待时间过长且一个信号周期内还不能完全放行到达的车辆。

(2) 主动优先

关伟等通过模拟路边设立公共汽车检测器,提出了公交优先控制的绿灯时间及最小绿灯时间计算模型^[5]。阴炳成、杨晓光提出了一种单点交叉口公交优先控制方法,在控制策略中运用了绿灯时间延长和相位提前激活两种方法^[6]。

高昆对主动公交优先信号控制方法中几种优先控制方式进行了对比研究,结论见表 1^[7]。

不同优先控制方式会对信号控制效益产生不同影响。Peter G 与 Theo H 对三种不同信号控制下(无优先、完全优先和有条件优先)的交通影响实验表明:相对于无优先和完全优先导致延误增加,有条件优先几乎没有影响^[8]。由此可见,有条件公交优先才是理想的信号控制方法。

表 1 主要信号优先控制方式对比

Table 1 Comparison of main signal priority control types

控制方式	工作方式	优点	缺点	适用情况
本地优先	决策由信号机执行,不能与交管中心通信	简单、信号机要求不高、工期短	信号优化不能保证区域信号最优控制	优先方向车流远超过交叉方向
系统监视本地优先	决策由信号机执行,交管中心具备远程监控能力	具有实行系统优先、本地优先能力	信号优化不能保证区域信号最优控制	优先方向车流远超过交叉方向
系统优先	决策由交管中心执行	兼备信号优先与区域信号优化控制	系统实施难度大、系统调试周期长	有能力实行系统优先的情况

(3) 实时优先

实时优先通过 GPS 和 AVM 等装置估计道路交通系统现状,基于网络上所有机动车的实时信息来优化交叉口信号配时。

Pitu M 研究得到:实时优先在减少公交车延误和缩短乘客出行时间的同时,对其余交通方式的影响较少^[9]。Kevin N 研究表明,只要 V/C 小于 0.95,采用智能公交优先措施对整个系统的延误基本上不会产生负面影响^[10]。

上述方法均建立在交通信息的实时获取基础上,需要大规模的建立交通信息采集系统。此外,对于我国城市中心区域的一些主干道,受道路条件(如道路扩建受限等)和交通条件(交通量大等)的限制,很难开辟专用的公交车道,限制了目前这些公交优先信号控制系统的发展,需要另辟新径来完善公交优先系统。

2 公交优先信号控制方法

非饱和交通状态下,采用上游出口检测时,将车辆检测器置于主干道出口处(位于对向车流停车线延长线上)。设从交叉口 i 至交叉口 $i+1$ 第 j 辆大型车通过出口检测器的时刻为 $t_{i,i+1,j}$ 。以每辆大型车通过出口检测器的速度作为该车在交叉口 i 与交叉口 $i+1$ 之间路段的平均速度,用 $v_{i,i+1,j}$ 表示,交叉口 i 与交叉口 $i+1$ 之间的距离用 $l_{i,i+1}$ 表示。则大型车到达下游交叉口停车线的计算方法分两种情况。

2.1 交叉口间无公交站点

当交叉口 i 与交叉口 $i+1$ 之间无公交站点时,第 j 辆大型车从交叉口 i 出口到达交叉口 $i+$

1 停车线的理论时刻为 $t_{i,+1,j} + l_{i,+1}/v_{i,+1,j}$ 。用 \bar{h}_i 表示大型车在路段上的饱和车头时距,可用检测的大型车-大型车饱和车头时距代替。

以车辆到达时刻为下界,车辆到达时刻加大型车饱和车头时距为上界,构造一个时间区间,该时间区间即为大型车 j 通过交叉口 $i+1$ 停车线的理论时间段,即:

$$[t_{i,+1,j} + l_{i,+1}/v_{i,+1,j}, t_{i,+1,j} + l_{i,+1}/v_{i,+1,j} + \bar{h}_i] \quad (1)$$

将所有大型车通过交叉口 $i+1$ 停车线的时间区间从小到大进行排序并依据相邻两个时间区间是否存在交集进行合并,如此将得到几个大的时间区间,每一个大的时间区间就对应一个公交车队通过交叉口 $i+1$ 停车线的时间段。

2.2 交叉口间有公交站点

当交叉口 i 与交叉口 $i+1$ 之间有公交站点时,因现实中干道上绝大部分公交线路的停靠站点均相同,因此假设每辆公交车在站点 $i+1$ 的停靠、制动及起动损失平均时间为 T_{i+1} 、方差为 σ_{i+1} ,则第 j 辆大型车通过交叉口 $i+1$ 停车线的时间段为

$$[t_{i,+1,j} + l_{i,+1}/v_{i,+1,j} + T_{i+1} - \sigma_{i+1}, t_{i,+1,j} + l_{i,+1}/v_{i,+1,j} + \bar{h}_i + T_{i+1} + \sigma_{i+1}] \quad (2)$$

同样将所有大型车通过交叉口 $i+1$ 停车线的时间区间从小到大进行排序并依据相邻两个时间区间是否存在交集进行合并,形成公交车队通过交叉口 $i+1$ 停车线的时间段。

2.3 公交优先信号控制算法

将客运干道上、下行所有公交车队通过交叉口 $i+1$ 停车线的时间区间在时间轴上排序并依据前后时间区间是否存在交集进行合并,然后将合并后的时间区间与干道方向相位配时方案进行比较,如图 1(a)。由此得到的公交优先信号控制算法如下(以两相位交叉口为例):

① 考察第 k 个(从 $k=1$ 开始)时间区间是否位于交叉口 $i+1$ 干道方向相位绿灯时间范围内,若是, $k = k+1$, 返回①,考察下一个时间区间是否位于交叉口 $i+1$ 干道方向相位绿灯时间范围内;否则,进入②。

② 若第 k 个时间区间与交叉口 $i+1$ 干道方向相位绿灯时间区间存在交叉,继续考察第 k 个时间区间与干道方向相位绿灯时间区间是下界还是上界相交,若与下界相交,则需提前结束交叉道路相位的绿灯时间,提前时间为第 k 个时间区间下界与绿灯时间区间下界的时间差;若与上界相交,则需延长干道方向相位绿灯时间,延长时间为第 k 个时间区间上界与绿灯时间区间上界时间差。

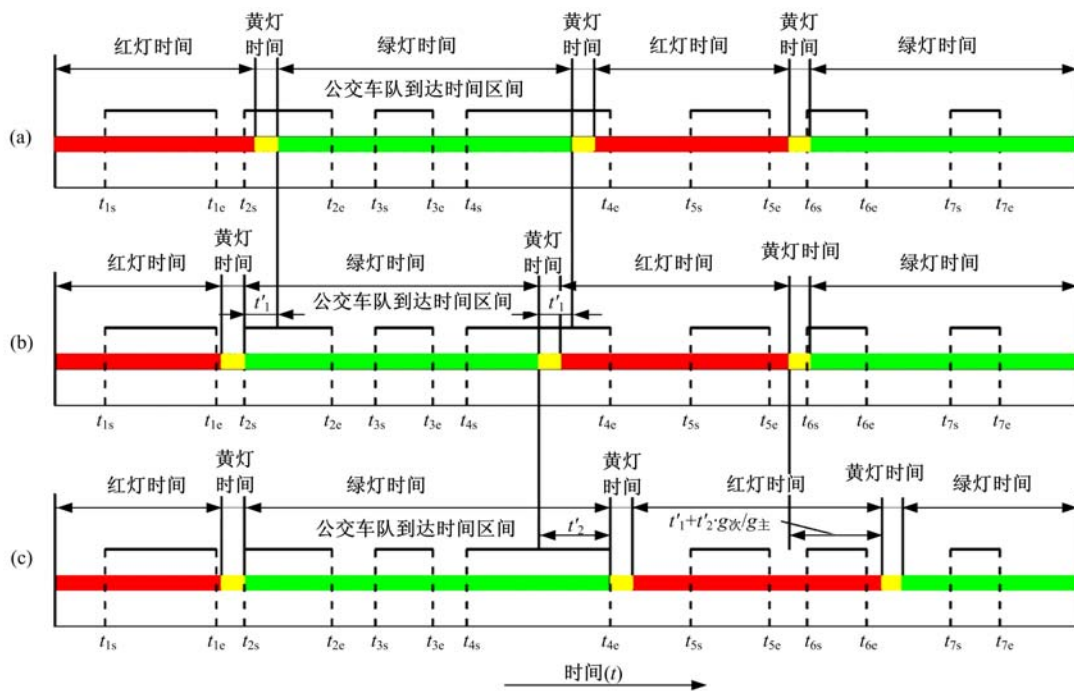


图 1 干道方向相位配时方案与公交车队通过交叉口时间区间示意

Fig. 1 Program of phase timing and time interval of buses passing intersection's stop-line

当需要提前结束交叉道路相位绿灯时间时,需将提前结束的时间长度加入到交叉道路相位后一个绿灯时间内,根据调整后的干道方向相位时间再与第 $k+1$ 个时间间隔进行比较,如图 1(b);当需要延长干道方向相位绿灯时间时,需按照绿信比同步延长交叉道路相位绿灯时间,根据调整后的干道方向相位时间再与第 $k+1$ 个时间间隔进行比较,如图 1(c)。否则,进入③。

③ 第 k 个时间区间与交叉口 $i+1$ 干道方向绿灯时间区间不存在交集,这部分公交车需停车等待,在下一个绿灯信号内通行,返回①。

在该算法第②步中,若不按上述方法进行交叉道路相位绿灯时间调整,将导致该相位绿灯时间不断压缩,不能保证该相位绿灯时间内能放行全部到达的车辆,这是有条件信号优先的体现。

3 案例分析

哈尔滨市二环路北新街段白天货车禁行,7:00~19:00 每小时大型车辆比例为 6%~11%,主要为公交车。该道路东西走向,双向 8 车道,与其相交道路主要有南十四道街、南十六道街、南十八道街和南二十道街。通过交通调查获取的各交叉口流量、流向及流率比见表 2。

从交通调查数据知,10:00~11:00 北新街的大型车比例最高,达到 10.9%。因此,选取该时段开展“基于上游交叉口检测的公交优先信号控

制方法”仿真验证。在进行交通仿真前,需要在 VISSIM 中建立该道路的交通运行环境并实现公交优先信号控制方法的融合,具体过程如下:

(1)程根据各交叉口的几何特征,在 VISSIM 中再现交叉口的形状及车道功能等。

(2)再依据各交叉口每 15 min 流量和平均速度调查数据,在 VISSIM 中设置各个路段的车流运行特性,作为交通仿真的车辆输入条件。

(3)设依据调查交通流量,建立各交叉口的信号配时方案。

(4)设置出口交通流检测器,并通过 VISSIM 软件 API 接口实时读取各检测器的车流到达数据供外部公交优先信号控制模块使用。

(5)将本文提出的公交优先信号控制方法编制成软件模块,结合出口交通流检测数据实时将信号控制方案调整结果通过 VISSIM 软件 API 接口返回到 VISSIM 信号控制方案运行库,以实现公交优先信号控制方法的融入。

对选取时段分别采取现有信号控制方案(单点控制)和提出的公交优先信号控制方案在 VISSIM 中各自仿真 1 h,对比结果见表 3。

仿真结果表明,采用公交信号优先控制方法,除交叉道路上的车辆延误增加较大外,整体车均延误有所降低,公交车延误下降幅度较大,能体现公交优先的理念。

表 2 信号交叉口流量与流率比(7:00~19:00)

Table 2 Traffic volume and flow rate at signaled intersections (7:00~19:00)

编号	交叉口名称	进口方向	关键车道组最小 流量(pcu/h)	流率比	关键车道组最大 流量(pcu/h)	流率比
1	北新街与 南十四道街	东西直行	1561	0.32	1943	0.40
		东西左转	217	0.13	308	0.19
		南北直行	243	0.15	324	0.20
		南北左转	139	0.09	180	0.11
2	北新街与 南十六道街	东西直行	1863	0.38	2394	0.49
		东西左转	106	0.07	152	0.09
		南北直行	132	0.08	163	0.10
		南北左转	259	0.16	340	0.21
3	北新街与 南十八道街	东西直行	1150	0.33	1675	0.48
		东西左转	97	0.09	138	0.09
		南北直行	82	0.08	124	0.12
		南北左转	92	0.09	142	0.14
4	北新街与 南二十道街	东西直行	1063	0.27	1594	0.40
		东西左转	183	0.11	275	0.17
		南北方向	322	0.20	444	0.27

表 3 不同信号配时方案延误对比

Table 3 Delay comparison of different timing programs

编号	交叉口名称	进口方向	现有信号配时方案 平均车辆延误/s	公交优先信号方案 平均车辆延误/s	延误减少数量/s	下降百分比
1	北新街与 南十四道街	东西直行	24.6	20.5	4.1	+16.67
		东西左转	45.7	49.7	-4.0	-8.75
		南北直行	52.1	58.6	-6.5	-12.48
		南北左转	61.3	70.2	-8.9	-14.52
2	北新街与 南十六道街	东西直行	25.7	20.9	4.8	+18.68
		东西左转	45.4	49.5	-4.1	-9.03
		南北直行	53.7	59.3	-5.6	-10.43
		南北左转	47.8	55.3	-7.5	-15.69
3	北新街与 南十八道街	东西直行	24.2	21.8	2.4	+9.92
		东西左转	31.4	35.3	-3.9	-12.42
		南北直行	43.6	47.8	-4.2	-9.63
		南北左转	45.1	51.0	-5.9	-13.08
4	北新街与 南二十道街	东西直行	23.5	18.9	4.6	+19.57
		东西左转	32.9	38.2	-5.3	-16.11
		南北方向	39.3	47.1	-7.8	-19.85
	车均延误		34.3	32.5	1.8	+5.25
	公交车延误		24.3	14.9	9.4	+38.68

4 结 论

(1) 提出了基于上游出口检测的公交优先信号控制方法,解决了无公交专用道的公交优先信号控制问题

(2) 借助 VISSIM 仿真,验证了本文提出的公交优先信号控制方法的有效性。应用在城市中心区域无法开辟公交专用道的主干道上,在资金投入小的情况下,能取得较明显的效果。

参考文献:

[1] Li Meng, Yin Ya-feng, Liu Hong-chao, et al. Adaptive transitsignal priority on actuated signalized corridors[C] //In the 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, 2005.

[2] Wu Jian-ping, Hounsell Nick. Bus priority using pre-signals[J]. Transportation Research Part A, 1998, 32 (8):563-583.

[3] 季彦婕,邓卫. 交叉口预信号公交优先方案及效益评价[J]. 华中科技大学学报:城市科学版,2003,20(1): 83-84.

Ji Yan-jie, Deng Wei. Design and benefit analysis of bus priority in intersection using pre-signals[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Urban Science Edition), 2003, 20(1):83-84.

[4] 吴建平, Nick Hounsell. 关于预信号交叉口公交优先问题的研究[J]. 交通运输工程与信息学报,2003,12: 12-16.

Wu Jian-ping, Nick Hounsell. Analysis of traffic at pre-signalised intersections [J]. Journal of Fransportation Engineering and Information, 2003, 12:12-16.

[5] 关伟,申金升,葛芳. 公交优先的信号控制策略研究 [J]. 系统工程学报, 2001, 16(3):176-180.

Guan Wei, Shen Jin-sheng, Ge Fang. Research on traffic signal control strategy for bus priority[J]. Journal of Systems Engineering, 2001, 16(3):176-180.

[6] 阴炳成,杨晓光. 交叉口单点公共汽车交通优先控制方法研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(12):123-126.

Yin Bing-cheng, Yang Xiao-guang. Study on the bus priority signal control theory of single intersection[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(12):123-126.

[7] 高昆,张海. 城市交通中的公交优先策略[J]. 交通运输系统工程与信息, 2006, 6(2):9-12.

Gao Kun, Zhang Hai. On priority strategies of urban public transport[J]. Journal of Transportation Ystems Engineering and Information Technology, 2006, 6(2): 9-12.

[8] Peter G F, Theo H M. Simulating performance impacts of bus lanes and supporting measures[J]. Jounal of Transportation Engineering, 1999, 125 (5):390-397.

[9] Pitu M, Larry H, Anna K. An approach towards the integration of bus priority and traffic adaptive signal control[R]. Transportation Research Board, 2001.

[10] Kevin N B, Conrad L D, Thomas U. Development and evaluation of an intelligent bus priority concept[R]. Transportation Research Board, 2000, 1727:12-19.