

基于干线协调的公交信号优先方法研究

崔梁¹,李康²,孙玮玮³

- (1. 上海铁路局芜湖东站,安徽 芜湖 241000;
2. 天津滨海快速交通发展有限公司,天津 300000;
3. 兰州铁路局嘉峪关段,甘肃 嘉峪关 735100)

摘要:以多个交叉口组成的干线路段为研究对象,提出一种基于干线协调的公交信号优先控制方法以实现交叉口所有车辆整体效益的最优。该系统由公交请求生成系统、通信系统、交通信号控制系统组成,通过双层优化的方法,即干线协调处于双层优化方法的上层,公交优先处于双层优化方法的下层,并以干线协调作为公交优先的前提条件,通过红灯早断和绿灯延长策略实现公交信号优先。具体案例分析表明,在不违背干线协调这一前提条件下给予到达交叉口的公交车以优先通行权,可以减少公交车辆在线路各个交叉口的等待时间,同时公交相位社会车辆的延误也得到降低。

关键词:干线协调;公交信号优先;双层优化;红灯早断;绿灯延长

中图分类号:U491.54 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2018)03-0053-05

大力发展公共交通,有效提升其运行效率是解决城市交通拥堵问题的重要方法,而单交叉口公交信号优先方法是无法进一步提升公交车在整条线路上运行效率的,因为干线协调效果不是多个交叉口的总和。如何实现公交车辆在整条线路上的信号优先,减少公交车辆的延误时间,提升其到站准点率显得尤为关键。因此研究干线协调下公交优先感应信号的控制具有十分重要的意义。

公交优先信号控制策略主要有3种:被动优先、主动优先、实时优先。其中被动优先是3种方式中唯一不设检测器的控制方式,它是依据交叉口交通的历史数据,结合公交车辆到达规律,使交叉口的信号配时适配公交车辆。何必胜等^[1]通过分析对比预设信号实现公交关键交叉口与常规交叉口的控制效果,发现预设信号可显著提高交叉口公交车辆整体的运行效率,降低公交车辆运行时的延误时间;马万经等^[2]研究认为只有空间与时间上的协调配合公交优先才能有效,基于此建立了时空优化的单点信号交叉口公交被动优先控制模型。

主动优先分为绝对优先与相对优先,是否需要在交叉口进口道设置检测器是两者的最大区别。通过检测器获得交叉口有无公交车辆到达,预算出公交车到达交叉口停车线的时间和当前所处相位,再结合相应的策略实现信号优先。沈国江等^[3]通过把公交优先控制的关键参数和信号配时计算有机结合,建立了基于控制参数的公交优先模型,并根据实时的交通量信息,设计计算公交优先相位最小绿灯时间的计算方法;樊晓平等^[4]在保证其他社会车辆不受太大影响的条件下,根据公交车辆到达交叉口的时刻,对比当前信号配时情况,采取延长当前绿灯时间和提前启亮优先相位的方法让公交车顺利驶离交叉口;吴兵等^[5]通过GPS以及其他信息装备获取实时的道路交通信息,并根据公交车辆准点运行到达时刻表来优化交叉口的信号配时,确保公交车辆不产生较大延误;李显生^[6-7]等在对单个交叉口公交优先信号控制策略分析研究的基础上,考虑不同交叉口信号配时特征,逐步增加交叉口数量,建立基于不同交叉口绿灯时间的优先模型。赵忠杰

等^[8]在分析公交车辆运行特征的基础上,以交叉口人均延误最小为优化目标,建立了基于相邻交叉口协调定时信号控制的公交优先模型。

1 设计思想

本文信号优先方法将干线协调和公交优先两个方面结合起来,并以干线协调为基础,在干线协调控制的基础上考虑公交优先控制策略。因为从作用范围看,干线协调作用于整条线路上所有机动车出行者,而公交优先只作用于公交车出行者,干线协调作用范围大于公交信号优先,其对城市交通流产生的影响更加深远。所以本文设计思想概括如下:干线协调作为信号优先控制的前提,设定其为双层优化的上层,通过设置在路段上的检测器得到社会车流量数据,进而优化公共周期、绿信比和相位差;公交信号优先作为双层优化的下

层,以协调相位绿波带上下限为配时参数调整的约束条件。

利用韦伯斯特法计算干线上每个交叉口的信号周期,进而确定最佳公共周期,再进一步确定各个交叉口的绿信比及相位差;计算干线绿波带上下限,并将其作为公交信号优先的约束条件。在具体实现公交车信号优先时,考虑到相位跳转、相位插入以及相位倒转对整个交叉口乃至整条线路的相位相序影响较大,只采用红灯早断和绿灯延长策略,并将其作为信号优先的核心模块。具体实践中无论采取绿灯延长还是红灯早断策略,均不能与干线协调这一前提条件相矛盾。

本文方法不改变交叉口信号周期,而且公交优先相位绿灯开始时间只能提前或者不变,结束时间只能延迟或者不变。其逻辑流程图如图 1 所示。

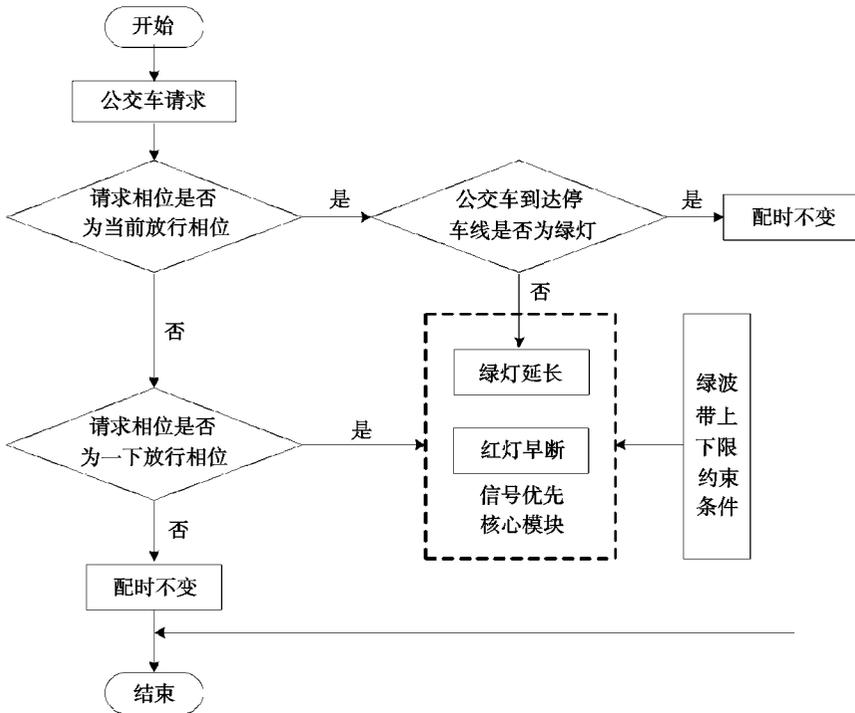


图 1 公交信号优先逻辑流程图

Fig. 1 Logic chart of bus signal priority

2 系统结构

本文信号优先控制主要包含以下 3 个组成部分:优先请求系统、通信系统和交通信号控制系统。

2.1 优先请求系统

优先请求系统主要功能是对公交车进行检测,并传送优先申请信息。检测器在检测过程中

主要是通过 OBU 车载子系统和 RSU 路边子系统来完成对公交车辆和社会车辆的检测。

2.2 通信系统

通信系统作为其余各个子系统互相联系的媒介,其主要功能是将检测器检测到的公交车相关信息和信号优先申请信息传送给各个交叉口信号控制机。

2.3 交通信号控制系统

交通信号控制系统作为整个信号系统的核心部分,将公交信号优先方法传送到交叉口红绿灯。该系统需要预先输入交叉口信号优先控制逻辑,并根据该逻辑系统判断是否给予到达交叉口的公

交车以优先通行权。对于具有多个信号优先申请的交叉口,系统还要对多个优先通过的申请进行等级划分并作出是否给予优先通行权的判断。交通信号控制系统结构如图2所示。

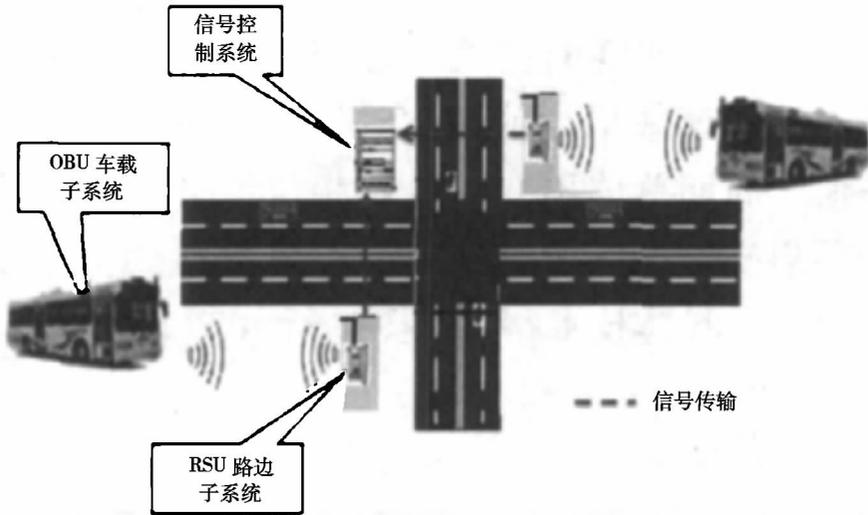


图2 公交信号优先系统结构

Fig.2 System structure of bus signal priority

3 案例验证

选取典型交叉口对本文提出的方法进行有效性验证。图3为交叉口所在位置及沿线路口平面图。由图3可知,此路段由北向南依次有4个信号控制点,分别是深安桥下路口、深安桥南行人过街、东湖路和东湖路南口,路段上路口南北方向为公交优先方向。试验时间段内,试验路口(方安苑)及其他各路口的运行方式及控制方案如表1所示。

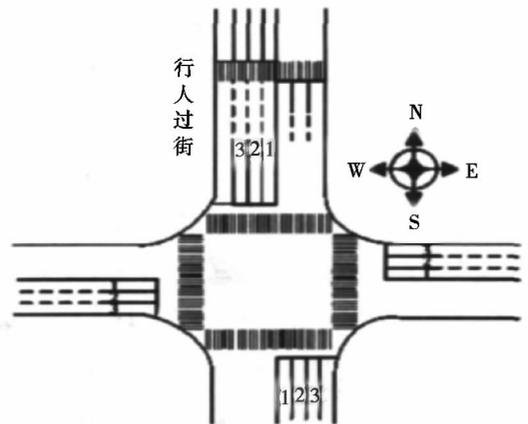


图3 公交优先试验路口示意图

Fig.3 Schematic diagram of bus priority test intersection

表1 路口运行控制方案说明

Table 1 Description of intersection operation control scheme

路口名称	相位数	相位说明	协调相位	周期时长/s
深安桥下	4	东西直行 东西左转 南北直行 南北左转	南北直行	103
深安桥南 行人过街	2	南北机动车 东西行人		
东湖路	2	南北机动车 东西机动车	南北方向	103
东湖路南	2	南北机动车 东西机动车	南北方向	103

3.1 协调效果验证

给予公交车优先通行权后,东湖路口每个周期内相位绿灯时间如图4所示。

本案例中,公交优先相位与协调相位为同一相位。从图4 公交优先周期变化可知:公交车在交叉口的优先通行权是通过公交相位红灯提前结束和绿灯延迟结束2种策略实现的;同时,协调相位的绿灯开始时刻只有提前没有延迟,确保干线协调这一前提条件的优先性,保证干线协调的控制效果。

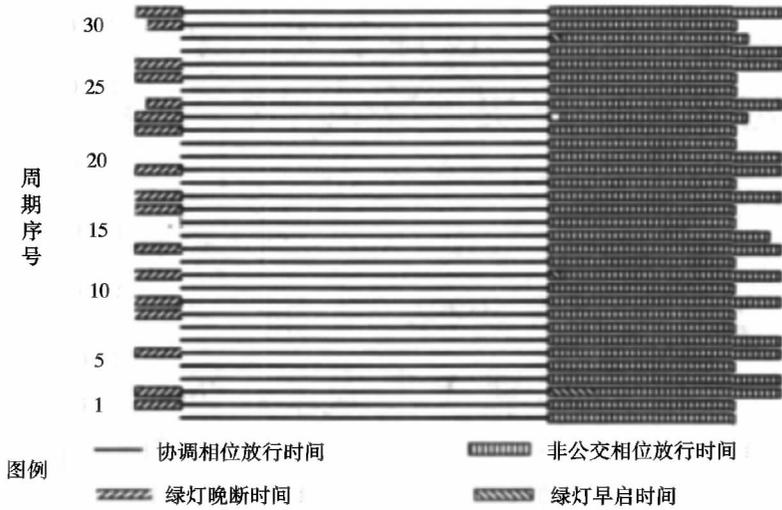


图 4 公交优先周期变化

Fig. 4 Periodic change of bus priority

3.2 公交车延误分析

通过对案例交叉口的分析可以得到交叉口公交车的通过方式及延误指标,如表 2 所示。

表 2 公交优先后交叉口运行分类统计表

Table 2 Classification statistics table of intersection operation after bus priority

名称	次数	比例/%	减少 延误时间/s
公交车辆总数	57		
直接通过	34	59.65	0
绿灯延长通过(延迟)	4	7.02	4 × 38 = 152
提前启亮 1 秒通过(早起)	1	1.75	1 × 1 = 1
提前启亮 3 秒通过(早起)	2	3.51	2 × 3 = 6
提前启亮 4 秒通过(早起)	16	28.07	4 × 16 = 64
总延误减少	223		

由表 2 可知:交叉口信号优先策略中红灯早断次数所占比例为 33%,远大于绿灯延长次数的所占比例 7%,但是绿灯延长策略的试验效果却比红灯早断的好。表 2 中虽然绿灯延长策略实施的次数仅有 4 次,但其减少的总延误为 152 s,占 2 种策略总降低延误 223 s 的 68%。

3.3 效果分析

通过上述案例分析可知:在不违背干线协调这一前提条件下给予到达交叉口的公交车以优先通行权,可以减少公交车在线路各个交叉口的等待时间;同时,在给予公交车优先通行权的时候公交相位的有效绿灯时间得到延长,使得公交相位社会车辆的延误也得到降低。

结合案例,两种信号优先策略的优先效果是不同的。虽然绿灯延长策略实施的次数较少,但其信号优先效果却好于红灯早断策略。之所以会有这样的结果是因为在绿灯延长策略中,绿灯延长的时间来源于其他所有非优先相位的红灯时间。因此,多数情况下公交车通过红灯早断策略实现信号优先,但其实施效果却不理想,因为在此策略下需要压缩非公交相位绿灯时间,从而给这期间的社会车辆带来不可避免的影响。综合以上效果分析,实际应用时应更多地考虑如何增加绿灯延长策略的实施次数,尤其在有多公交优先申请时应相应减少红灯早断策略的实施次数,且绿灯提前启亮时间不应该过长;在其余相位的车流量较小,相位剩余绿灯时间较长时可适当将绿灯提前启亮时间设置成较大的值。

4 结论

本文提出一种基于干线协调的公交信号优先控制方法,以实现交叉口所有车辆整体效益的最优。采用双层规划的思想,将干线协调控制作为双层规划的上层,公交优化作为双层规划的下层,主次分明逐步优化。但本文所提出的公交信号优先方法是基于信号周期的稳定不变,具有一定的局限性;并且干线协调的控制情况基于人为设定,在实际应用中较难实现。由于相位跳转、相位插入和相位倒转策略对相序影响较大且并未采用,在今后研究中应进一步明确以上策略的适用条件、优先效果等,并将这些策略应用到实际案例中。

参考文献:

- [1] 何必胜,宋瑞,何世伟,等. 交叉口公交优先预信号感应控制策略仿真实现[J]. 系统仿真学报,2011,23(9):1909-1914.
- [2] 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.
- [3] 沈国江,孙优贤. 基于相序优化的多相位模糊交通控制[J]. 控制与决策,2002,17(S1):654-658.
- [4] 樊晓平,刘耀武. 基于神经网络的交叉口可变相序模糊控制方法[J]. 交通运输系统工程与信息,2008,8(1):80-85.
- [5] 吴兵,李晔. 交通管理与控制[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [6] 李显生,曹铭伟. 基于需求识别和绿信比优化的单点感应控制方法[J]. 道路交通管理,2002,17(10):32-33.
- [7] 栗红强. 城市交通控制信号配时参数优化方法研究[D]. 长春:吉林大学,2004.
- [8] 赵忠杰,刘小强,谢光秋. 单交通路口变相位变周期信号控制[J]. 长安大学学报(自然科学版),2006,25(6):70-72.

Research on Bus Signal Priority Method Based on Trunk Line Coordination

CUI Liang¹, LI Kang², SUN Weiwei³

- (1. Wuhu East Station of Shanghai Railway Bureau, Wuhu Anhui 241000, China;
2. Binhai Mass Transit, Tianjin 300000, China;
3. Jiayuguan Section of Lanzhou Railway Administration, Jiayuguan Gansu 735100, China)

Abstract: Taking a trunk line section composed of several intersections as the research object, a bus signal priority control method based on trunk line coordination is proposed to realize the optimal overall benefit of all vehicles at the intersection. The system is composed of bus request generation system, communication system and traffic signal control system. Through the method of double-layer optimization, that is, the trunk line coordination is in the upper layer of the double-layer optimization method, the bus priority is in the lower layer of the double-layer optimization method, and the trunk line coordination is taken as the precondition of the bus priority, the bus signal priority is achieved through the red light early break and the green light extension strategy. The concrete case analysis shows that the priority right of passage is given to the bus arriving at the intersection without violating the precondition for trunk line coordination. It can reduce the waiting time of bus vehicles at various intersections of the line, and the delay of social vehicles in bus phase is also reduced.

Keywords: trunk line coordination; bus signal priority; bilevel optimization; early break of red light; extension of green light

(责任编辑:李华云)