

文章编号: 1002-0268 (2005) 12-0123-04

交叉口单点公共汽车交通优先控制方法研究

阴炳成¹, 杨晓光²

(1. 天津市城市规划设计研究院, 天津 300201; 2. 同济大学交通工程系, 上海 200092)

摘要: 开发 ITS 背景下的公共汽车交通优先控制方法是从根本上改善公交车辆运行情况的需要。满足车辆固有的行驶时刻表是实施公交优先通行申请的重要依据, 在本文控制策略中运用绿灯时间延长和相位提前激活两种方法, 在兼顾其它车辆运行情况的前提下, 给予晚点公交车优先的通行信号。论文最后以厦门市湖滨南路实际交通流量为依托, 运用交通仿真方法验证了优先控制策略的实际效果。

关键词: 公交优先; 时刻表; 绿灯时间延长; 相位提前激活

中图分类号: U491

文献标识码: A

Study on the Bus Priority Signal Control Theory of Single Intersection

YIN Bing-cheng¹, YANG Xiao-guang²

(1. Tianjin Urban Planning & Design Institute, Tianjin 300201, China;

2. Department of Traffic Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Bus priority signal control on the background of ITS is to improve bus operation. In the control strategy, the basic reason to give bus priority is to keep the bus on schedule, so the system only gives priority signal to the bus fallen behind schedule by green extension and red truncation, concurrently taking consideration of other traffic. The control theory is applied in a real project in Xiamen and is proved to be effective through the simulation of VISSIM.

Key words: Bus priority; Schedule-base strategy; Green extension; Red truncation

0 引言

随着小汽车的出现到普及, 城市机动化水平在不断的提高。但由于城市范围内有限的道路资源难以满足日益增长的交通需求, 城市交通效率受到了严重的影响, 在中心城区交通拥挤已成为亟待解决的城市问题。公共汽车作为大容量的交通工具, 其具有小汽车十几倍乃至几十倍的运量, 提倡使用公共交通是从根本上缓解城市交通负担的有效途径。公共汽车交通优先控制作为保证公交优先的重要措施, 其在饱受交通堵塞之苦的欧洲各国得到了普遍的应用, 并产生了巨大的交通效益^[1]。

目前公交优先控制方法已经由被动优先发展到主动优先, 近些年更是出现了实时优先策略^[2,3]。本文研究的重点就是开发一种符合我国交通流特性的公交车运行整体性实时优先控制策略。

1 单点优先控制的总体目标与基本策略

公交专用道的合理布设可以在空间上保证公共汽车在空间上的优先通行, 因此优先控制策略的开发是立足于公交专用道(包括公交专用进口道)的实施。

在面向专用道的交叉口单点公共汽车交通优先控制中, 应该同时保证公交车辆运行的准时性和交叉口的总体运行效益, 以公交车晚点延误最小化和交叉口的

收稿日期: 2004-12-02

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 973 资助项目 (TG1998030408); 国家自然科学基金资助项目 (59878039)

作者简介: 阴炳成 (1979-), 男, 天津人, 工学硕士, 主要研究方向为城市交通控制及交通规划。(yinbc0218@hotmail.com)

总体效益最佳化作为控制的基本目标。

为保证优先控制的高效性和实时性,在控制系统的开发中采用了离线控制方案与在线优化调整相结合的分步式控制策略。离线方案主要运用了多种被动优先控制方法;而在线调整则根据实时交通状况变化,优化信号控制方案。该系统强化离线控制方案中公交车的优先通行权,确定初始控制方案,包括:相位相序方案、初始周期和初始绿信比;在实时的优化调整中以交叉口总体效益指标 PI 值的最佳化为优化目标函数,调整控制方案,从而实现优先控制的目标,在线优化主要进行绿信比调整,并且仍然采用相位绿灯时间延长和相位绿灯提前激活两种主要方法。

2 基本假定

(1) 在交叉口设置公交专用进口道,且进入专用进口道的公交车辆行驶方向确定。

(2) 相位设计中考虑专用进口道内公交车辆的行驶状况,即公交车行驶过程中不存在其它冲突车流。

(3) 在公交专用进口道的上游设置公交检测器,如图1所示。

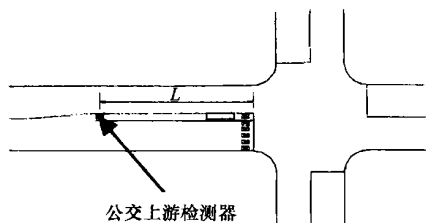


图1 公交上游检测器位置示意图

3 相位绿灯时间延长优化机理

3.1 相位绿灯时间延长控制基本原理

相位绿灯延长感应式控制的基本原理如图2。在相位初期维持由离线控制方案所制定的初始绿灯时长 g_{b0} , 当到达相位绿灯延长判断开始时刻 t_{sg} 时, 开始对通过上游检测器检测到的公交车辆准点情况进行相应的判断分析, 若直至判断结束时刻 t_{dg} 仍无晚点公交车通过上游检测器, 则保持本相位原有的绿灯时长不变, 按照离线控制方案在绿末切换相位; 若在上述判断过程中出现晚点公交车则需要根据晚点公交车到达上游检测器的实际时间, 每检测到一辆晚点公交车, 实时对交叉口总体效益指标 PI 值、其他各车道最大排队长度 Q_j 和延长相位的最大绿灯时间 g_{bmax} 进行判断, 当满足前提设定条件时, 将本相位绿灯延长一个单位绿灯延长时间 Δg , 该相位的绿灯时间延长

至 g_b 结束。若连续有晚点车辆到达则以相位最大绿灯时间 g_{bmax} 为约束, 绿灯一直延长到相位的 g_{bmax} , 即若检测到后面仍有晚点公交车到达, 也中断现状这个通行相位。因此, 实际相位的绿灯时间 g_b 大于等于初始相位绿灯时长 g_{b0} 且小于相位的最大绿灯时长 g_{bmax} 。

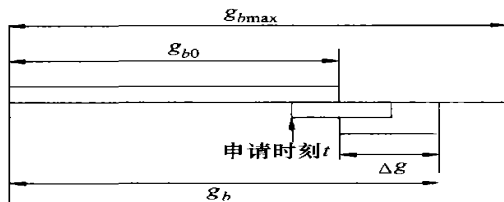


图2 相位绿灯时间延长感应式控制机理

3.2 相位绿灯时间延长控制数学规划模型

延长相位绿灯时间,除了以公交车晚点情况作为相位延长的申请依据外,还要考虑其他方向车流的运行状况,保证交叉口运行效益最佳化,同时还应该满足其他各流向不会出现超长排队和延长相位的最大绿灯时间两个约束条件。

目标函数

$$\min PI = \min \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left(\alpha_{ij} D_{ij} + \alpha_{bij} d_{bij} + \beta_j \tau_j + \beta_{bij} \tau_{bij} + \gamma_b O_{bij} \right) \right]$$

约束条件

$$\begin{cases} Q_j \leq Q_{jmax} \\ g_b \leq g_{bmax} \end{cases}$$

其中, D_{ij} 、 α_{ij} 为 i 方向 j 进口道车辆总延误 (s) 和总延误权重系数; d_{bij} 、 α_{bij} 为第 i 条公交专用道第 j 辆公交车延误 (s) 和公交车延误权重系数; τ_j 、 β_j 为 i 方向 j 进口道车辆总停车次数和总停车次数权重系数; τ_{bij} 、 β_{bij} 为第 i 条公交专用道第 j 辆公交车停车次数和公交车停车次数权重系数; O_{bij} 、 γ_b 为第 i 条公交专用道第 j 辆公交车时刻表偏移值 (s) 和时刻表偏移的权重系数; Q_j 为 i 方向 j 进口道车辆的排队长度, m; Q_{jmax} 为 i 方向 j 进口道车辆预先设定的最大排队长度, m; g_b 为延长公交相位的绿灯时间, s; g_{bmax} 为延长公交相位的极限最大绿灯时间, s。

各权重系数 α_{ij} 、 α_{bij} 、 β_j 、 β_{bij} 和 γ_b 实际上反映了控制的总体思路, 它的取值与道路等级、流向等级、流量、时间 (高峰期与非高峰期)、公交车上乘客数等有关。

3.3 绿信比调整策略

在对公交通行相位进行绿灯时间延长后, 相应地

应将其他相位绿灯时间进行调整, 即对绿信比方案进行再分配, 主要的分配原则如下:

(1) 初始分配方案

当出现公交车辆优先申请时, 需要对绿信比分配方案重新调整, 以计算绿信比优化后交叉口效益的变化情况。在是否延长绿灯时长的判断时刻, 非绿灯时间延长相位按照等饱和度原则进行绿信比的初始分配, 以此作为首次试算的依据。

$$g_e = \Delta g_i + \Delta g_j$$
$$\Delta g_i : \Delta g_j = \frac{\Delta q_i}{S_i} : \frac{\Delta q_j}{S_j}$$

式中, g_e 为公交优先通行条件下相位绿灯延长时长, s; Δg_i 、 Δg_j 为其他各相位绿灯时长的缩短值, s; Δq_i 、 S_i 为第 i 相位中关键流向流量相比上一个时间间隔的流量增量以及关键流向的饱和流量, pcu/h; Δq_j 、 S_j 为第 j 相位中关键流向流量相比上一个时间间隔的流量增量以及关键流向的饱和流量, pcu/h。

(2) 分配方案微调

在最终实施方案中, 应考虑各流向最小绿灯时间约束, 从而对绿信比进行小步距调整。

4 相位绿灯提前激活优化机理

4.1 相位绿灯提前激活控制基本原理

相位提前激活感应式控制的基本原理如图 3。在相位初期维持由离线控制方案所制定的相位初始红灯时长, 并根据车载定位系统和专用道内上游检测器判断公交车到达情况和其中是否出现晚点, 若直至判断结束时刻 t_{dr} , 排队及达到上游检测器的公交车辆均无出现晚点, 则保持相位离线的配时控制方案不变, 在红灯末期切换到公交通行相位的绿灯时间; 若出现晚点公交车到达, 则以其到达时刻为相位提前激活优化的启动时刻 t_s , 对当前通行相位及其后各通行相位的最佳绿灯时间进行再次搜索, 在搜索中不断的以交叉口总体效益 PI 最佳化为目标对相位的最佳红灯时长进行优化调整, 在不影响各相位最小绿灯通行时间的基础上, 提前中断公交通行相位的红灯时间, 为晚点的公交车提供优先的通行权。相位红灯时长根据

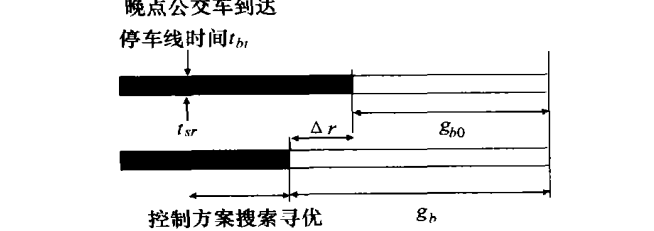


图 3 相位提前激活感应式控制机理

实时计算的结果得到, 实际结果小于等于初始相位的红灯时长。

4.2 相位绿灯提前激活控制数学规划模型

相位绿灯时间提前激活, 除了以公交车晚点情况作为相位提前激活的申请依据外, 还要考虑其他方向车流的运行状况, 保证交叉口运行效益最佳化, 同时还应该满足相位最小绿灯时间约束。

目标函数

$$\min PI = \min \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left(\alpha_j D_{ij} + \alpha_{bi} d_{bij} + \beta_j \tau_j + \beta_{bi} \tau_{bij} + \gamma_b O_{bij} \right) \right]$$

约束条件

$$g_i \geq g_{imin}$$

其中, g_i 为非公交通行相位的绿灯时间, s; g_{imin} 为非公交通行相位的极限最小绿灯时间, s; 其它各符号含义同前。

4.3 绿信比调整策略

绿信比调整方法同相位绿灯延长中的方法。

5 算例

下面以厦门市湖滨南路-湖滨东路交叉口实际交通流量数据通过 VISSIM 仿真软件对优先控制策略进行分析。

依据 2002 年 5 月 29 日 (星期 3) 对湖滨南路沿线各交叉口的交通流量调查, 交叉口高峰小时流量出现在 17:30~18:30, 因此, 针对该高峰小时流量确定基本的离线控制方案^[9], 如图 4 所示。



图 4 基本离线控制相位相序方案

5.1 相位绿灯时间延长结果分析

根据实时流量, 假定西进口第 115s 到达上游检测器的公交车出现晚点, 通过分析应将绿灯时间延长 2s, 考虑到其它各流向的实时流量情况, 对控制方案采取如图 5 所示的调整方法。

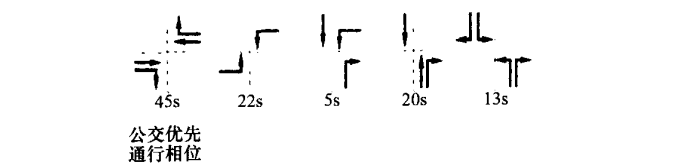


图 5 相位绿灯延长调整控制方案

根据丹尼斯·罗伯逊等人研究成果, 当停车率与

延误的权重系数之比为 20 时, 车辆燃油总消耗量最小^[6]; 同时考虑一般情况下公交车乘客数与一辆小汽车上乘客数之比大于 10, 因此设所有车辆停车率与延误的权重系数之比为 20, 晚点公交车时刻表偏移与其它车辆延误的权重系数之比为 10, 即延误权重系数 $\alpha=1$ 、停车率权重系数 $\beta=20$ 、晚点公交车时刻表偏移情况权重系数 $\gamma=10$ 。应该强调的是, 在实例中为客观验证控制效果, 交叉口各流向以及普通公交车和小汽车的控制参数 (延误和停车率) 权重系数取值统一。

根据 VISSIM 仿真软件输入的结果得出的各车流效益指标 (延误、停车率), 则在此间隔内离线方案的 PI 为 15 124.6, 优化方案的 PI 为 13 748.6, 优化后方案交叉口总体效益指标 PI 值优于离线方案; 同时, 优化前晚点公交车时刻表偏移情况为 234s, 优化后降低至 159s。

5.2 相位绿灯提前激活结果分析

同理, 根据实时数据, 假定东进口第 10s 到达上游检测器的公交车晚点 3min, 该车在第 16s 到达交叉口停车线, 以该车的优先通行请求为依据对控制方案进行调整, 优化后方案如图 6 所示。

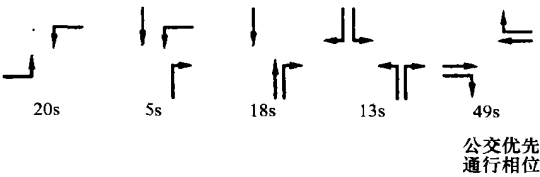


图 6 相位提前激活调整控制方案

仍取延误权重系数 $\alpha=1$, 停车率权重系数 $\beta=20$, 晚点公交车时刻表偏移情况权重系数 $\gamma=10$ 。则在此间隔内离线方案的 PI 为 11 707.6, 优化方案的 PI 为 10 831.8; 优化前晚点公交车时刻表偏移情况为 229s, 优化后为 223s。

6 结论

通过上述分析研究, 公共汽车交通优先总体控制策略在交叉口单点实施中, 发挥出了其显著的控制效果, 既降低了晚点公交车的时刻表偏移值又没有对其它交通流造成严重的影响, 该方法为在我国实施公交优先控制指明了方向。

参考文献:

[1] J D Nelson, D W Brookes, M G H Bell. Approach to the Provision of Priority for Public Transport at Traffic Signals: a European Perspective [J]. Traffic Engineering and Control, 1993: 426- 428.

[2] Guey-Shii Lin, Ping Liang, Paul Schonfeld. Department of Civil Engineering, The University of Maryland, Adaptive Control of Transit Operations [R]. MD-26-7002, 1995

[3] Transit Cooperative Research Program Transportation Research Board National Research Council, Improved Traffic Signal Priority for Transit [R]. TCRP PROJECT A-16, 1998.

[4] 杨晓光, 林瑜, 杭明升. 信号控制交叉口公共汽车优先信号确定方法研究[J]. 中国公路学报, 2001, 14 (增刊): 101- 104

[5] 杨晓光, 等. 厦门市绿色交通实施方案研究——交通篇 [R]. 同济大学道路与交通工程研究所, 2002.

[6] 全永荣. 城市交通控制 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1989.