

具有公交优先的交叉口信号控制技术

徐颖燕, 沈国江, 孔祥杰, 谢宜生

(浙江大学工业控制技术国家重点实验室, 杭州 310027)

摘 要: 针对一类典型交叉口, 提出一种具有公交优先的交叉口模糊信号控制技术。采用公交专用道和公交优先进口道实现公交车辆在空间上的优先, 通过具有公交优先的交通信号控制算法实现公交车辆在时间上的优先。信号控制算法的核心模块由绿灯相位模块、红灯相位模块和决策模块组成, 分别设计这 3 个模块的模糊控制策略。控制目标是达到对公交车辆加权的车辆平均延误最小。仿真结果表明, 与定时信号控制技术相比, 该控制策略不仅大幅度减少了公交车辆的平均延误, 而且提高了非公交车辆的通行效率, 可应用于实际工程。

关键词: 交叉口; 交通流; 公交优先; 模糊控制

Intersection Signal Control Technology with Bus Priority

XU Ying-yan, SHEN Guo-jiang, KONG Xiang-jie, XIE Yi-sheng

(State Key Laboratory of Industrial Control Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

【Abstract】 An intersection fuzzy signal control method with bus priority is presented. The buses are given a priority spatially by the bus-only lanes and the bus-priority approaches. Meanwhile, the buses are given a priority temporally by the traffic signal control algorithm with bus priority. The core module of the signal control algorithm consists of green phase module, red phase module and decision module, of which the fuzzy control strategies are designed respectively. The control target is to make bus-weighted vehicle average delay minimum. Simulation results show, compared with fixed-time control, this control strategy not only can reduce bus mean delay significantly, but also can improve social vehicles' transit efficiency. So this control strategy can be put into practice.

【Key words】 intersection; traffic flow; bus priority; fuzzy control

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.02.051

1 概述

随着经济的发展和城市的扩大, 城市交通问题日益突出, 交通拥堵、出行不便和环境污染等问题严重影响了城市可持续发展与“和谐社会”的构建。借鉴国内外解决城市交通问题的经验, 在交通信号控制中实施公交优先是解决城市交通问题的有效方法之一^[1]。文献[2-4]在伦敦 SCOOT(Split Cycle Offset Optimization Technique)系统中深入实践和优化了公交优先技术。我国的专家和学者, 如杨晓光等^[5]、王元庆等^[6]从道路渠化层面讨论公交车辆的空间优先, 沈国江^[7]、张卫华和陆化普等^[8-10]则从信号控制技术层面研究公交车辆的时间优先, 张凤传等^[11]则提出了一种基于 GPS/GPRS/GIS 技术的智能公交监控系统。

然而, 我国对公交优先技术的研究大多停留在理论层面上, 虽然一些城市在某些信号控制交叉口设置了公交专用道。但统计数据表明: 如果不在交通信号控制中体现公交优先, 即使有公交专用道, 公交车辆的运营节省的时间也十分有限。因此, 针对交叉口的交通流状况, 在提高道路通行能力的同时, 实现公交优先具有非常重要的意义。

本文针对一类典型交叉口, 提出一种具有公交优先的模糊信号控制技术, 实现空间优先和时间优先的结合。仿真结果表明这种控制技术更大程度地减少了公交车辆的延误, 也有效减少了非公交车辆的平均延误, 切实提高了道路的通行能力, 改善了交叉口的交通状况。

2 交通流组织

对于一个典型交叉口, 车道双向 6 条, 进口道双向 8 个, 本文的交通流组织方案如图 1 所示。

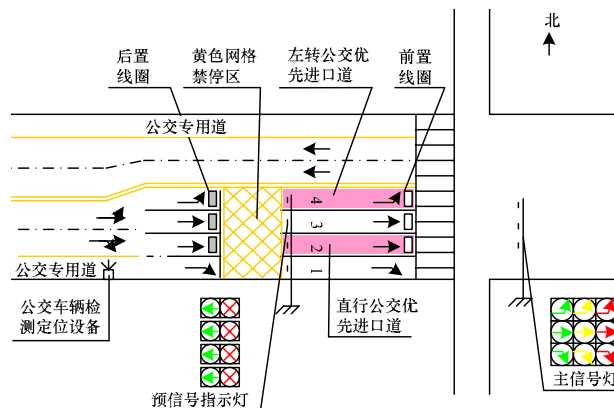


图 1 交叉口交通流组织方案

图 1 为交叉口西口的进口道交通流组织情况, 其他 3 个方向类似。

(1) 公交专用道: 只允许公交车辆通行, 禁止非公交车辆进入通行, 如图 1 中双向最右边车道设置为公交专用道。

(2) 公交优先进口道: 用于公交车辆优先排队等候通行。当预信号指示灯为红灯时, 非公交车辆禁止驶入, 公交车辆优先进入该区域等候绿灯信号。其长度为 80 m, 可用红色沥

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2007AA11Z216); 国家自然科学基金资助项目(50708094); 浙江省自然科学基金资助项目(Y1090208)

作者简介: 徐颖燕(1984-), 女, 硕士, 主研方向: 公交优先技术; 沈国江, 副研究员、博士; 孔祥杰, 博士; 谢宜生, 硕士

收稿日期: 2010-06-02 **E-mail:** yanzifeiguo@gmail.com

青铺设,如图1中2号和4号车道。

(3)预信号指示灯:该指示灯仅对所在车道的非公交车辆有效,用于指示非公交车辆的通行。当指示灯为红灯时,非公交车辆在公交专用等候区外排队等候;为绿灯时,非公交车辆进入公交专用等候区,立即通过交叉口。一般情况下,1号和3号车道的预信号指示灯常绿。

(4)车辆检测:非公交车辆由铺设在每个车道的感应线圈来检测,前置线圈位于停止线后0.5 m,后线圈在距前线圈100 m处。公交车辆检测采用射频形式,发射装置安装在公交车上,接收装置放置在公交车站下游的路边,如果两相邻交叉口间没有公交车站,则放置在这两交叉口的正中间。

为提高绿灯利用率和车道利用率,同时也确保主信号灯由绿变红时能清空公交优先进进口道内的车辆,公交优先进进口道的预信号指示灯提前主信号灯由红变绿或由绿变红。以图1中的直行交通流为例,当主信号的绿灯时间快结束时,2号车道的预信号指示灯提前变红,该车道路上的非公交车辆在禁停黄网格后停车等候,公交优先进进口道清空,而3号车道的预信号指示灯通常为绿灯,所以直行的非公交车辆也可以直接通过黄色网格禁停区在3号车道上排队等候通行。当主信号为红灯时,公交车辆通过黄色网格禁停区或者借用右转车道进入公交优先进进口道排队等候,其他车辆在各自停车线前排队等待;在主信号的红灯时间快结束时,2号车道的预信号提前绿灯,此时,该车道路上的非公交车辆可驶入公交优先进进口道,以便充分利用公交优先进进口道中未被利用的道路空间;当主信号灯变绿时,车辆依次通行,2号车道上的非公交车辆尾随公交车辆一起驶离进口道。另外,为方便公交车辆借用右转车道,根据实际情况主信号灯的右转相位大部分时间是绿灯。

左转的交通流组织与直行的类似。

由上可知,本文针对的交叉口其路段交通流量应适中,不能经常处于饱和状态,否则,设置公交专用道或公交优先进进口道,效果会适得其反。

3 系统结构

假设:(1)每辆接近交叉口的公交车辆都能被检测到,具有与信号控制系统通信的能力;(2)每辆通过交叉口或接近交叉口的车辆都能被前置线圈或后置线圈检测到。一对线圈不仅能计算出经过的车辆数,而且能估算出排队的车辆数。

如图2所示,信号控制算法的核心模块由绿灯相位模块、红灯相位模块和决策模块组成。绿灯相位模块,通过观测当前绿灯相位的车辆通行情况和即将到达的车辆情况,判断该相位是否需要继续优先放行的程度。红灯相位模块,通过观测相序中下一个绿灯相位的等待车辆情况和即将到达的车辆情况,判断该红灯相位需要立即放行的紧急程度。决策模块,根据绿灯相位模块和红灯相位模块的输出,做出决策,是切换相位还是延长当前绿灯相位。如果决策模块的输出大于某一设定阈值,则相位切换;反之,相位不切换,当前绿灯相位延长时间 t_e s(一般 t_e 取7 s)。

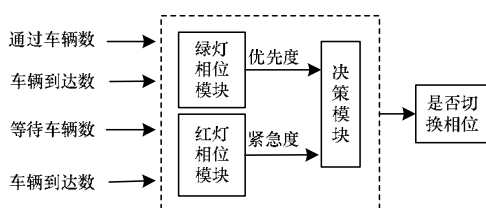


图2 系统结构

公交车辆能承载的乘客数远大于非公交车辆,其延误所引起的效应也远高于非公交车辆。因此,给公交车辆设定公交优先等级系数 α ,折算成非公交车辆。该系数越大,公交车辆的优先度越大,具体数值视实际情况而定。

4 控制算法

4.1 绿灯相位模块

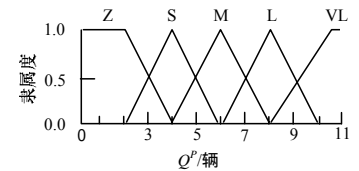
绿灯相位模块是一个模糊控制模块,其输入为所观测相位在预期未来 t_e s内通过交叉口的车辆数 Q^p 和将到达交叉口的车辆数 Q^a ,输出为优先度 P_G 。

实际上,一个相位包含了多个车道,取该相位所属各个车道中交通流量的最大值标称该相位的交通流量,即:

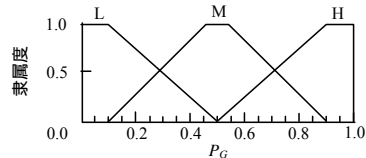
$$Q^p(t) = \max(q_1^p(t), q_2^p(t), \dots, q_n^p(t)) \quad (1)$$

$$q_i^p(t) = q_i^{vp}(t) + \alpha \cdot q_i^{bp}(t) \quad i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

其中, q_i^{vp} 、 q_i^{bp} 分别表示该相位第 i 车道在 $(t, t+t_e]$ 通过的非公交车辆数和公交车辆数; n 为该相位包含的车道数; $Q^p(t)$ 表示该相位在 $(t, t+t_e]$ 通过的车辆数,理论上取值范围为 $[0, \infty)$,模糊集定义为:Z(零),S(少),M(中),L(多),VL(很多),如图3(a)所示。



(a) Q^p 的模糊集定义



(b) P_G 的模糊集定义

图3 Q^p 和 P_G 的模糊集定义

同理有:

$$Q^a(t) = \max(q_1^a(t), q_2^a(t), \dots, q_n^a(t)) \quad (3)$$

$$q_i^a(t) = q_i^{va}(t) + \alpha \cdot q_i^{ba}(t) \quad i=1,2,\dots,n \quad (4)$$

其中, q_i^{va} 、 q_i^{ba} 分别表示该相位第 i 车道在 $(t, t+t_e]$ 即将到达交叉口的非公交车辆数和公交车辆数; $Q^a(t)$ 表示该相位在 $(t, t+t_e]$ 即将到达交叉口的车辆数,理论上取值范围为 $[0, \infty)$,模糊集定义为:Z(零),S(少),M(中),L(多),VL(很多),其模糊划分与 Q^p 一样。

输出 P_G 取值范围为 $[0, 1]$,模糊集定义为:L(低),M(中),H(高),如图3(b)所示。如果通过交叉口的车辆数越少,或者将到达交叉口的车辆越少,意味着当前相位绿灯利用率越低,表示继续延长当前绿灯相位的必要性越小,也就是说优先度越低,模糊规则如表1所示。

表1 绿灯相位模块的模糊规则

P_G	Q^p				
	Z	S	M	L	VL
Q^a	Z	L	L	L	M
	S	L	L	L	M
	M	L	L	M	H
	L	M	M	H	H
	VL	M	M	H	H

4.2 红灯相位模块

红灯相位模块的输入为所观测相位在当前时刻等待的车辆数 Q^w 和将来 t_e s内将到达交叉口的车辆数 Q^a ,输出为紧急度 P_R 。红灯相位模块的 Q^a 如同绿灯相位模块中的 Q^a ,

Q^p 和 P_R 处理方式也如同绿灯相位模块的 Q^p 和 P_G ,限于篇幅,这里不再赘述。

该模糊规则如表 2 所示。

表 2 红灯相位模块的模糊规则						
P_R	Q^v					
	Z	S	M	L	VL	
Q^a	Z	VL	VL	L	L	M
	S	VL	VL	L	M	H
	M	L	L	M	H	H
	L	L	M	H	VH	VH
	VL	M	H	H	VH	VH

4.3 决策模块

决策模块决定是切换到下一相位,还是延长当前绿灯相位,其输入分别是绿灯相位模块的输出 P_G 和红灯相位模块的输出 P_R ,输出是相位切换权 P_S 。 P_S 取值范围为[0, 1],模糊集定义为Y(是)和N(否),如图 4 所示。

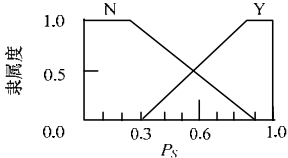


图 4 P_S 的模糊集定义

如果绿灯相位优先度是 L,或者红灯相位紧急度很高,那就需要切换相位。决策模块的模糊规则如表 3 所示。

表 3 决策模块的模糊规则						
P_S		P_R				
		Z	L	M	H	VH
P_G	L	N	Y	Y	Y	Y
	M	N	N	Y	Y	Y
	H	N	N	N	N	Y

4.4 程序流程

完整的信号控制流程如图 5 所示。

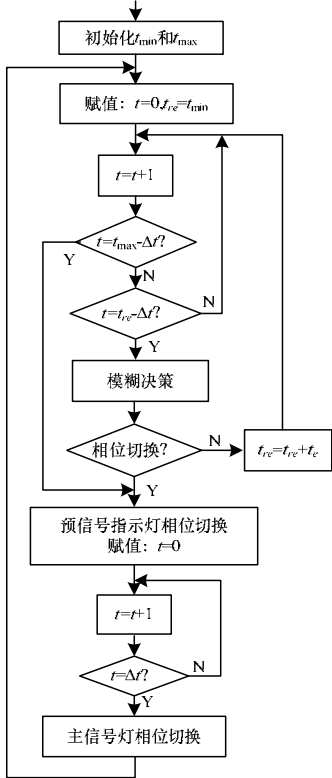


图 5 交叉口信号控制流程

一般而言,相位绿灯时间小于最小绿灯时间 t_{\min} ,导致车辆来不及通过交叉口而影响交通安全;也不宜过长,不能

大于最大绿灯时间 t_{\max} ,以免司机心理上难以承受。各相位的最小绿灯时间 t_{\min} 和最大绿灯时间 t_{\max} 由实际情况和交警经验指定。预信号指示灯与主信号灯协调控制时,先于主信号灯由绿变红或由红变绿,即在相位切换时,由预信号指示灯先行切换,经过时间 Δt 后,主信号灯再予切换。 t_{re} 为当前绿灯相位预期的有效时间。

5 仿真

5.1 性能指标

本文选用的性能指标为交叉口中公交车辆加权的车辆平均延误最小,评价交叉口所有车辆通行效率的同时,侧重考虑公交车辆:

$$\min PI = \sum_{t=1}^T d_s(t) + \alpha \cdot \sum_{t=1}^T d_b(t) \tag{5}$$

其中, $d_s(t)$ 是第 t 周期非公交车辆的平均延误; $d_b(t)$ 是第 t 周期公交车辆的平均延误,具体计算方法参考文献[12]。

5.2 仿真结果及分析

本文以绍兴市城区某典型交叉口作为仿真对象。该交叉口是绍兴市区 2 条重要干线交汇处,交通非常繁忙,其中,公交车流量占 10%。据统计,公交车辆平均载客量为 30 人/辆,非公交车辆平均载客量为 2 人/辆,公交优先等级系数 α 取 15,另取 Δt 为 5 s。

仿真条件如表 4 所示,分别有轻、中、重 3 种交通流量,以本文提出的 PI (单位为 s/辆)为性能指标,分别以策略 1——现使用的无公交优先的定时控制策略;策略 2——只实现空间公交优先仍采用定时控制的策略;策略 3——本文提出的时空均实现公交优先的模糊控制策略进行仿真,结果如图 6 所示。

表 4 仿真条件		(辆·h ⁻¹)			
交通方案	交通流量				
	东	西	南	北	
轻交通	1 200	1 250	1 300	1 350	
中交通	1 500	1 550	1 600	1 650	
重交通	1 900	1 950	2 000	2 050	

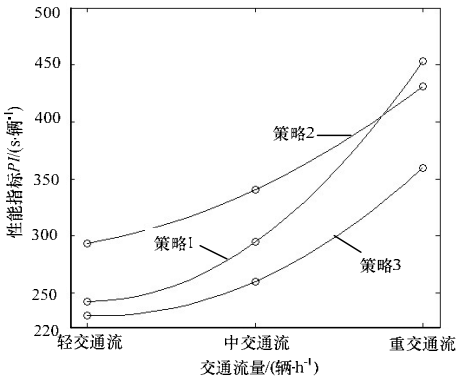


图 6 仿真结果

从图 6 中可以看出:(1)本文提出的策略 3 均优于现使用的策略 1;(2)在轻交通情况下,整体路况较好,策略 2 与策略 3 都有明显效果,主要由于公交车辆的优先通行,大幅度改善性能指标;(3)在中交通情况下,策略 2 显得逊色,效果明显下降;(4)在重交通情况下,策略 2 效果更差,公交专用道和公交专用等候区的设置在一定程度上牺牲了社会车辆的通行效率,而时间上公交车辆的优先通行无法体现,两者均影响了性能指标 PI 值;(5)策略 3 在中交通流量的状态下,效果最为显著。

(下转第 153 页)