

公交优先模糊控制算法研究

张立东,王英龙

(山东省科学院 计算中心,山东 济南 250014)

摘要:为了克服公交定时优先信号控制不够灵活的缺点,设计了公交优先模糊控制算法,该算法以公交误点数值和待行相位排队长度为输入,以当前相位绿灯延时为输出,实现了以路口总延误人数最少为目标的最优控制。借助 Matlab6.5 进行仿真,仿真结果表明了该模糊算法的有效性,模糊控制算法延误人数比定时控制下的延误人数平均低 26.6%。

关键词:智能交通;公交优先模糊控制器;模糊逻辑;人均延误

中图分类号: TP273.4, U491.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2007)03-0059-04

Study of a fuzzy control algorithm for public transit priority

ZHANG Li-dong, WANG Ying-long

(Computer Science Center, Shandong Academy of Sciences, Ji'nan 250014, China)

Abstract: To overcome shortcomings of pre-timed Public Transit Priority (PTP) control algorithms which are not sensitive to live traffic flow fluctuations, a novel fuzzy logic controller is proposed. This control algorithm, using the degree of bus delay and queuing of cars as input variables, and green signal delay of current phase as an output variable, gives improved control with the target of minimizing total delay for passengers. Simulation results with Matlab6.5 software show that the fuzzy logic algorithm is more effective than a pre-timed control, with the average delay per person under fuzzy control 26.6% lower than under pre-timed control.

Key words: ITS; public transit priority fuzzy controller; fuzzy logic; average delay per person

近年来,因交通引起的社会问题日益突出,在交通“以人为本”的观念指导下,公交优先的理念逐渐深入人心,国内外学者也对此进行了大量相关研究。日本学者 Koichiro Iwaoka^[1]、美国学者 Noritaka Koga^[2]、Hisaya Ohdake^[3]、清华大学的张卫华^[4]、同济大学的阴炳成^[5]、杨晓光等人都进行了大量的相关研究。文献[1-3,5]中提到的方法只是把车辆延误作为优先的目标,而没有考虑公交车辆中的载客数,文献[4]中尽管以“人均延误”作为公交优先优化的目标,但没有根据公交晚点的程度进行深入讨论。在总结前人研究成果的基础上,就如何在综合考虑待行社会车辆和公交车误点程度2个因素的基础上实行公交优先模糊控制进行了详细研究,提出了相应的算法。

1 公交优先模糊控制系统设计

1.1 系统工作原理

系统的工作原理可以描述为:公交线圈检测器检测到达的公交车辆是否准点,如果准点,则按正常的控制策略进行信号灯的控制;如果非准点到达,则根据与配时表的误差值的大小及下一相位待行的车辆数作为进行当前相位绿信号延时量多少的判断标准,建立模糊控制器,保证公交优先的同时,兼顾社会车辆的排队长度,保证路口总延误人数最少,如图1。

1.2 算法逻辑

根据上述工作原理,设计控制算法如下:

1) 检测器检测到公交车辆的出现,并将此信息传递给路口信号控制器,路口信号控制器将此公交车出现信息与正常公交时刻表比照,计算出公交车到达时刻与正常时刻表的差值,称作误点数值(取

收稿日期:2006-08-22.

基金项目:山东省信息产业专项发展资金资助项目(2006R00042)。

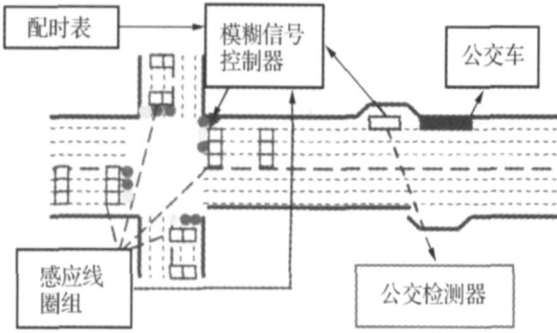


图1 公交优先模糊控制原理示意图

Fig.1 PTP fuzzy control theory

绝对值)；

2) 若公交车到达时刻与配时表一致,则跳过下列操作,执行正常配时操作,否则转到3)；

3) 实时检测其他相位车流排队信息；

4) 将公交车到站时刻偏移值及下一相位的车辆排队长度作为模糊控制器的输入,推理得出路口信号灯的延时时间 t_i ；

5) 若 $t_i + t_i > T_{imax}$, 则 $T_{ireal} = T_{imax}$ ；否则 $T_{ireal} = t_i + t_i$ ；

6) 当前相位结束,进入下一相位,转到1),循环往复。

1.3 模糊控制器的设计

1.3.1 控制器结构

模糊控制器的输入:公交车误点数值和后继相位主队列的等待车辆数(或排队长度)；

模糊控制器的输出:当前相位的绿延时；

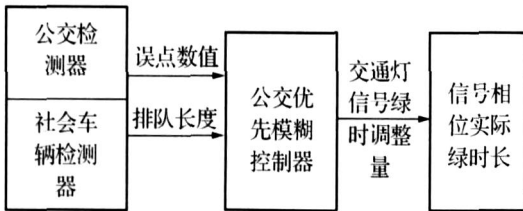


图2 模糊控制器基本工作原理图

Fig.2 Fuzzy controller function

1.3.2 输入输出语言变量的确定及量化

输入变量 q_r :当前公交车偏移正常时刻表的数值,即误点数值,并设其最大值为 Q_{rmax} 。

论域: $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$ ；在该论域上定义模糊子集: $\{\text{很大, 大, 中等, 小, 很小}\}$, 简记为: $\{VB, B, M, S, VS\}$ ；基本论域: $[0, Q_{rmax}]$ 。隶属函数如图3。

输入变量 q_v :下一相位待行主队列排队长度,设最大排队长度为 Q_{vmax} ；论域: $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,$

$9, 10\}$ ；在该论域上,定义模糊子集: $\{\text{很长, 长, 中等, 短, 很短}\}$, 简记为: $\{VL, L, M, S, VS\}$ ；

基本论域: $[0, Q_{vmax}]$, 隶属函数曲线如图3。

控制器输出 O :路口当前相位信号延时量,设最大延时为 T_{emax} ；论域: $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$ ；在此论域上定义5个模糊子集: $\{\text{很长, 长, 中等, 短, 很短}\}$, 简记为: $\{VL, L, M, S, VS\}$ ；基本论域为: $[0, T_{emax}]$, 隶属函数如图4所示。

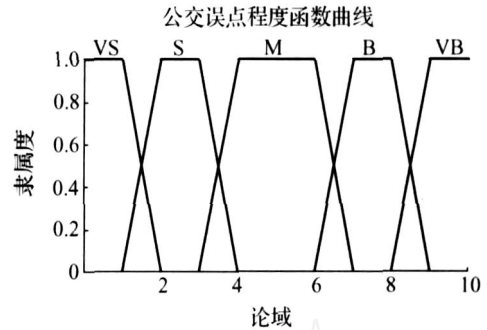


图3 输入隶属函数曲线

Fig.3 Membership function of input

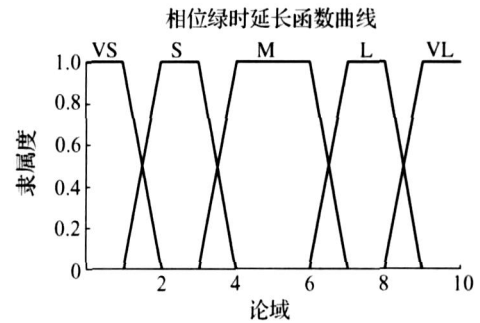


图4 输出的隶属函数曲线

Fig.4 Membership function of output

量化因子和比例因子的选择:设输入变量 q_r, q_v 的量化因子分别为 k_1, k_2 , 则 $k_1 = 10 / Q_{rmax}$; $k_2 = 10 / Q_{vmax}$ 。输出比例因子为 $k_3 = T_{emax} / 10$ 。

1.3.3 规则表

结合济南市公共交通运行情况,提炼出如下 $5 \times 5 = 25$ 条模糊控制规则,见表1。

1.3.4 推理规则的设计

二维模糊控制器的控制规则形式:

IF (q_r is Q_{ri}) AND (q_v is Q_{vj}) THEN (O is O_{ij})；此处, Q_{ri}, Q_{vj} 及 O_{ij} 分别是上文定义的模糊语言变量。根据模糊规则表,求出每一条模糊规则的模糊关系 R_{ij} ,如下式:

$$R_{ij} = Q_{ri} \times Q_{vj} \times O_{ij}.$$

式中: $i = 1, 2, 3, 4, 5; j = 1, 2, 3, 4,$

表 1 模糊控制规则表
Table 1 Fuzzy control rule base

排队长度	时刻偏移量				
	VS	S	M	B	VB
VS	VS	S	M	L	VL
S	VS	S	M	L	VL
M	VS	S	M	M	L
L	VS	S	S	ML	
VL	VS	VS	VS	S	M

注:各字母含义见 1.3.2
从而得到所有模糊关系对应的规则集为

$$R = \bigcup_{j=1}^5 \bigcup_{i=1}^5 R_{ij}.$$

1.3.5 解模糊(或模糊判决)

采用重心法进行解模糊,公式如下:

$$z^* = \frac{\mu_{\tilde{c}_i}(w_j) \cdot w_j}{\mu_{\tilde{c}_i}(w_j)}.$$

式中: 表示代数和, w_j 和 $\mu_{\tilde{c}_i}(w_j)$ 分别表示各对称隶属函数的质心和隶属度值. $i = 1, 2, 3, 4, 5$.

1.3.6 建立模糊查询表

利用 Matlab 中的 FuzzyLogicToolbox,在 FIS 编辑器中实现输入变量、输出变量及模糊规则的编辑,建立如下输出查询表 2.

表 2 模糊输出查询表
Table 2 Fuzzy output query

排队长度		时刻偏移量				
		0,1	2,3	4,5,6	7,8	9,10
		1)	2)	3)	4)	5)
0,1	A	0.75	2.5	5	7.5	9.25
2,3	B	0.75	2.5	5	7.5	9.25
4,5,6	C	0.75	2.5	5	5	7.5
7,8	D	0.75	2.5	2.5	5	7.5
9,10	E	0.75	0.75	0.75	2.5	5

A ~ E 代表 5 种比较情形,1) ~ 5) 为每种情形时刻偏移量代码.

根据相应的输入,模糊化后查上表 2,则得到精确控制值,该值与比例因子进行相乘后可作为控制器的输出.

$$T_{\text{real}} = \text{INT}(g_{\text{real}} + K_3 \times g^* + 0.5).$$
 (注:INT 为取整操作)

2 延误算法

2.1 基本延误计算法

设 $t_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 为交叉路口各个相位的配

时; $_{ijk}$ 表示第 i 个相位,第 j 个方向,第 k 个车道的当前周期的车辆到达率,则一个周期内第 i 个相位,第 j 个方向,第 k 个车道到达的车辆数为

$$S_{\pi i} = _{ijk} t_i.$$

假设在绿灯期间内,放行车辆在第 i 个相位,第 j 个方向,第 k 个车道驶离路口的离开率为 u_{ijk} ,则一个周期内第 i 个相位,第 j 个方向,第 k 个车道可能驶离路口的车辆数为

$$S_{\pi o} = u_{ijk} t_i.$$

设 $S_{ijk}(l)$ 表示第 i 个周期,第 i 个相位,第 j 个方向,第 k 个车道滞留的车辆数,则:

$$S_{ijk}(l) = z \left[S_{ijk}(l-1) + _{ijk} \left(\sum_{i=1}^i t_i \right) - u_{ijk} t_i \right].$$

式中:

$$z = \begin{cases} 0, & \text{若 } S_{ijk}(l-1) + _{ijk} \left(\sum_{i=1}^i t_i \right) < u_{ijk} t_i, \\ 1, & \text{若 } S_{ijk}(l-1) + _{ijk} \left(\sum_{i=1}^i t_i \right) \geq u_{ijk} t_i. \end{cases}$$

$i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3, 4; k = 1, 2, 3.$

故在第 l 个周期末,路口总的滞留车辆数可表示为

$$S_T = \sum_{i,j,k} S_{ijk}(T).$$

2.2 改进的延误模型

公交优先既是指公交车具有优先通行权,也指公交乘客具有优先通行权,根据此理念,采用延误人数作为比较对象.

$$D_{\text{total}} = S_T \times C_{\text{man}} + S_T \times \text{Busman}.$$

式中: D_{total} 是总延误人数, C_{man} 是社会车辆平均载人数; S_T 是社会车辆延误数, S_T 是公交车延误数, Busman 是公交车平均载人数.

3 仿真实例

以济南市经十路与舜耕路实际路口为研究对象,路口拓扑图如图 1 所示.作如下设定:

- 1) 1 辆标准公交的最大误点时间为 $Q_{\text{rmax}} = 15 \text{ s}$,得 $k_1 = 10/15 = 1/1.5$;
 - 2) 标准社会车辆最大允许排队长度 $Q_{\text{vmax}} = 180 \text{ m}$,得 $k_2 = 10/180 = 1/18$;
 - 3) 标准社会车辆长度(考虑平均车头间距)为 6 m ,平均每车载人 3 人;标准公交车平均载客 30 人;
 - 4) 路口信号灯最大延时为 $T_{\text{emax}} = 10 \text{ s}$,得 $k_3 = 10/10 = 1$;
 - 5) 定时优先控制策略情况下,绿灯固定延时为 6 s .
- 为了集中说明问题,简化问题,作如下假定:一

个周期路口其他相位平均车辆延误 15 辆. 针对控制规则中的 5 种情形得图 5.

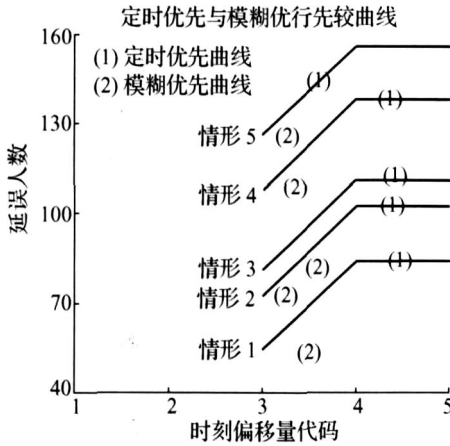


图 5 延误人数比较曲线

Fig. 5 Performance Curve of Delay

注: 情形 1~5 分别指待行相位排队长度很短、短、中等、长、很长 5 种情形.

分析图 5 曲线, 可以看出在公交一定误点时间内, 定时优先与模糊优先情况下的延误人数是相等的, 原因是误点的公交车在这 2 种情况下都能顺利通过路口, 而在此范围之外, 模糊优先明显优于定时优先. 总起来说, 在同样条件下, 公交模糊优先延误人数比定时公交优先控制下的延误人数平均低 26.6 个百分点.

4 结束语

模糊算法能实现路口公交优先的实时信号控制, 保证了路口交通最优, 仿真结果也证明了模糊算法的有效性. 当然, 该文只是探讨了单辆公交车延误的情况, 对于多辆公交误点以及冲突相位公交误点等多种情况下的协调最优控制的研究还有待于进一步的深入.

参考文献:

- [1] KOICHIRO I, MANABU M, SATOSHI N. Public transportation priority systems combined with multiple traffic control [A]. IEEE proceedings Intelligent Transportation Systems 2000[C]. Dearborn MI, 2000.
- [2] NORITAKA K. Public transportation priority system using optical bus detectors [A]. Proceedings Intelligent Transportation Systems 1999[C]. Tokyo, 1999.
- [3] HISAYA O. On construction of a public transportation priority system (PTPS) [A]. Proceedings Intelligent Transportation Systems 1999[C]. Tokyo, 1999.
- [4] 张卫华, 陆化普, 石 琴, 等. 公交优先的信号交叉口配时优化方法[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(3): 49 - 53.
ZHANG Weihua, LU Huapu, SHI Qin, et al. Optimal signal-planning method of intersections based on bus priority[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(3): 49 - 53.
- [5] 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): 124 - 126.
YIN Bingcheng, YANG Xiaoguang. Study on the bus priority signal control theory of single intersection[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(12): 124 - 126.

作者简介:



张立东, 男, 1979 年生, 副研究员, 主要研究方向为动态交通网络管理与控制理论、人工智能理论, 参与多项省级基金项目, 已发表文章 8 篇, EI 检索 3 篇.

E-mail: zhangld@keylab.net.



王英龙, 男, 1965 年生, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为网络应用技术、网络安全技术和信息系统标准化, 先后主持并完成多项课题, 多次获奖, 发表论文 20 余篇.