

单路口交通实时模糊控制的一种方法[‡]

陈 洪 陈森发

(东南大学经济管理学院 210096)

摘 要 根据城市交通系统的实际状况,依据单路口 4 个方向车流的来车信息,提出了一种单路口交通模糊控制方法——多级模糊控制方法,设计了多级模糊控制器,并对该控制器进行了仿真研究,结果令人满意。

关键词 交通系统,模糊控制,递阶,实时

1 引言

模糊控制不需要建立被控对象的精确数学模型,适用于非线性、时变及滞后系统的控制。它能提供许多非智能控制方法无法替代的控制效果。在许多自动控制领域,如精密机床控制、粮食烘干系统、造纸等,模糊控制的应用非常成功。城市交通系统由于具有复杂性和随机性的特点,难以用精确的数学模型来描述。国内外学者通过建立交通系统的数学模型提出了各种控制算法^[6],但是由于数学模型不能较好地反映实际的城市交通系统,尽管算法十分复杂,控制效果却不尽人意,实时性也较差。近年来用模糊控制方法实现交通系统的控制得到国内外学者^[1,3,4]的关注。大多数学者在该领域的研究尚属初步探索,至今真正应用到城市交通控制还未见报道。

早在 1976 年, Pappis 和 Mamdani 就将模糊控制用于单交叉口的交通控制^[1],仿真结果表明比用传统的控制方法平均减少车辆延误 7% 左右。我国学者徐冬玲等人^[4],把模糊控制用于单路口信号灯控制,并用神经网络实现模糊控制,仿真表明控制结果合理、迅速。但从其控制规律来看,它仍未摆脱感应式控制方式的思路。

事实上,无论是 Pappis 等人或是徐冬玲等人的研究,都仅依据单交叉口的两相位的关键车流(假定两个相位的饱和流量相同,一个相位两个方向中流量最大的车流称为该相位的关键车流)来决定交通信号配时,而忽略了两相位的非关键车流对信号配时的影响。根据 F·韦伯斯特-B·柯布理论,信号配时的优选是建立在车辆通过交叉口时,延误时间尽量小的基础上。忽略了非关键车流的车辆到达信息,就不能保证通过交叉口车辆的总延误尽可能小。

本文根据城市交通实际状况,在同时考虑每个相位的关键车流和非关键车流的车辆到达交叉口的信息的基础上,提出了更为有效的单路口交通实时模糊控制方法——多级模糊控制方法。

2 单路口交通多级模糊控制

单路口交通控制即是选择适当的信号配时(或绿灯时间),使交叉口车辆平均延误时间尽可能小。

单路口交通控制系统受两个相位的 4 个方向车流到达率的影响, 即该系统含多个系统变量. 因此, 单路口交通控制系统是一个典型的多变量模糊控制系统. 由于模糊控制规则的条数是系统变量个数的指数函数, 当系统变量个数较大时, 要构造常规的基于规则的模糊控制器十分不易^[5]. 为此, 本文引入多级模糊控制结构. 把对系统性能影响最大的变量定为一級变量, 对系统性能影响次之的变量定为二級变量. 文中选择对单路口交通控制系统控制效果影响最大的两相位的关键车流的车辆到达数和绿灯延长時間作为一級变量, 由它们组成一級模糊控制器; 选择两相位的非关键车流的车辆到达数和绿灯延长時間修正量作为二級变量, 由它们组成二級模糊控制器.

如图 1 所示单路口, 每条路进口装有一个信号检测器, 分别检测东向西、西向东、南向北、北向南的车辆到达信息, 且在整个周期保持该信息. 由绿灯变红灯期间有 3s 的黄灯, 绿灯在黄灯亮 1.5s 后熄灭. 检测器和停车线间保持足够距离, 使得能把后面 11.5s 内的 4 个方向的车辆到达情况传送给控制器.

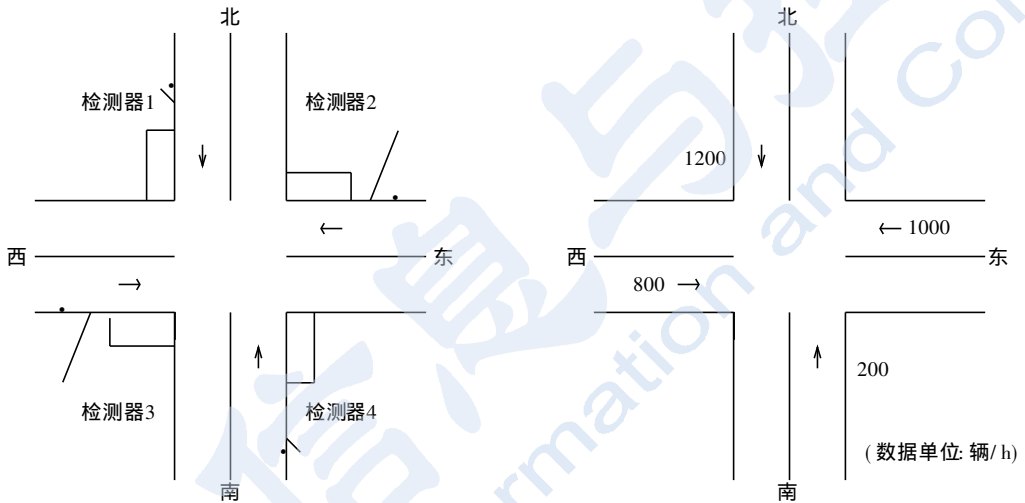


图1 路口示意图

图2 各方向车流到达率

假定各方向的车流到达率如图 2 所示, 其中北向南、东向西车流为两个相位的关键车流. 根据检测器检测到的两关键车流的车辆到达信息, 由模糊控制可得到信号灯延长時間初值 e_s .

南向北、西向东车流为两个相位的非关键车流. 若南北向绿灯, 由于西向东方向来车比南向北方向的来车多, 当依信号灯延长 e_s , 则东西向车辆延误较大. 为使通过交叉口的车辆总延误尽量小, 应适当减少南北向绿灯时间. 若东西向绿灯, 而在 e_s 内东西向车辆未走完, 则应适当增加东西向绿灯时间.

单路口多级模糊控制过程是: 根据检测器检测到的各方向车辆到达信息, 确定两相的关键车流和非关键车流. 对两相的关键车流的车辆到达情况实施模糊控制, 即经过模糊化、模糊控制规则、模糊判决得到有通行权相位的绿灯延长時間初值 e_s ; 对两相的非关键车流的车辆到达情况实施模糊控制, 得到绿灯延长時間的修正時間 Δe_s . 从而得到控制策略, 即绿灯延长時間 $e + \Delta e_s$ (这里要求 $0 \leq e + \Delta e_s \leq 10$). 单路口交通多级模糊控制系统结构如图 3 所示.



图3 单路口交通多级模糊控制系统结构

3 模糊控制器的设计

本文给出两个模糊控制器, 即一级模糊控制器和二级模糊控制器的设计. 每个模糊控制器均由 3 部分组成, 即模糊化、模糊控制规则、模糊判决.

3.1 一级模糊控制器的设计

一级模糊控制器的控制变量是绿灯延长时间. 在绿灯期间, 每 10s 控制一次, 最多一共控制 5 次. 本控制器基本思想类似于 Pappis 和 Mamdani 的设计^[1].

模糊输入量: T (时间), Q (等候车辆数), A (到达车辆数);

模糊输出量: E (绿灯延长时间).

以上模糊集采用语言变量定义, 具体参见文献 [1].

控制规则共 25 条, 每次控制用 5 条规则, 每个规则是 T , Q , A 和 E 间的一个模糊关系.

t : 考虑后面第 ts ;

a : 在后面 ts 中, 如交通灯不变, 则有 a 辆车通过;

q : 在后面 ts 中, 如交通灯不变, 有 q 辆车等候;

e : 交通灯再保持 $e = ts$ 不变.

按最大-最小运算, 计算 (t, a, q, e) 的隶属度. 模糊判决采用最大隶属度原则, 即选择使隶属度 u 最大的绿灯延长时间 e 作为该模糊控制器的输出.

3.2 二级模糊控制器的设计

该控制器的控制变量是绿灯延长时间的修正量 Δe . 绿灯期间每 10s 控制一次.

模糊输入量: Q_1 (无通行权相位的非关键车流的等候车辆数), Q_e (有通行权相位的关键车流在绿灯延长时间 e_s 后尚未走完的车辆数);

模糊输出量: Δe (绿灯延长时间的修正量).

以上模糊集采用语言变量定义, Q_1 , Q_e , Δe 的模糊集定义分别如表 1, 表 2, 表 3 所示.

表 1 Q_1 模糊集定义

Q_1 (辆) 模糊集	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
很小	1	0.9	0.7	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小	0	0.5	0.7	0.9	1	0.9	0.7	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
中	0	0	0	0	0	0.5	0.7	0.9	1	0.9	0.7	0.5	0	0	0	0	0
长	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.7	0.9	1	0.9	0.7	0.5	0
很长	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.7	0.9	1

表 2 Q_e 模糊集定义

Q_e (辆) / 模糊集	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
很小	1	0.5	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小	0.1	0.3	0.5	1	0.5	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0
中	0	0	0	0.1	0.3	0.5	1	0.5	0.3	0.1	0	0	0
大	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.5	1

表 3 Δ_e 模糊集定义

Δ_e (s) / 模糊集	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
负大	1	0.8	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
负中	0.2	0.7	1	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
负小	0	0	0.2	0.7	1	0.9	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
正小	0	0	0	0	0	0	0	0.9	1	0.7	0.2	0	0
正中	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1	0.7	0.2
正大	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1

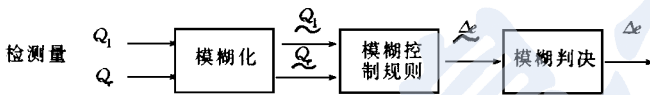


图 4 二级模糊控制器的结构

二级模糊控制器输入红灯相位非关键车流的等车车辆数, 绿灯相位关键车流在一级模糊控制器的输出绿灯延长时间 e_s 后的等车车辆数的模糊量, 通过模糊控

制规则(见表 4), 就可得到一个模糊控制策略. 模糊输出 Δ_e 的模糊量采用最大隶属度原则反模糊化, 得到 Δ_e 的精确值.

表 4 模糊控制规则表

Q_e / Δ_e	很小	小	中	长
很小	0	正小	正中	正大
小			负小	
中			负中	
长			负大	
很长			负大	

4 仿真研究

我们假定路口各方向车辆到达交叉口是随机的, 车辆到达率在 $0 \sim 0.5$ 辆/s, 10s 内车流服从均匀分布, 随机产生东向西、西向东、南向北、北向南的车辆在 10s 内到达分布, 即 10s 中每 s 内到达的车辆数, 计算各方向前 ns 内通过停车线的车辆数或等候车辆数 ($n = 1, 2, \dots, 10$). 假定某车流红灯转变为绿灯后车流以 1 辆/s 的速率离开等候的车队, 计算车辆延误.

设

$$q_n = \begin{cases} 1, & \text{如果在第 } ns \text{ 内有一辆车到达} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

红灯相位的车辆总延误

$$D_R = \sum_{n_2=1}^n [(Q_{1G} + \sum_{n_1=1}^{n_2} q_{1n_1}) + (Q_{2G} + \sum_{n_1=1}^{n_2} q_{2n_1})] \quad (1)$$

其中 Q_{1G}, Q_{2G} 分别表示前绿灯时间红灯相位两个方向未走完的车辆数; q_{1n_1}, q_{2n_1} 分别表示红灯相位两方向在红灯第 n_1 s 内的车辆到达数; n 表示该周期内红灯时间(s).

绿灯相位的车辆总延误

$$D_G = \sum_{n_1=1}^n z_1(Q_{1R} + \sum_{n_2=1}^{n_1} q_{1n_2} - n_1) + \sum_{n_1=1}^n z_2(Q_{2R} + \sum_{n_2=1}^{n_1} q_{2n_2} - n_1) \quad (2)$$

其中 Q_{1R}, Q_{2R} 分别表示绿灯相位两方向在前红灯时间等候的车辆数; q_{1n_2}, q_{2n_2} 分别表示绿灯相位两方向在绿灯第 n_2 s 内车辆到达数; n 表示该周期内绿灯时间(s).

$$z_1 = \begin{cases} 1, Q_{1R} + \sum_{n_2=1}^{n_1} q_{1n_2} - n_1 > 0 \\ 0, \text{否则} \end{cases}$$

$$z_2 = \begin{cases} 1, Q_{2R} + \sum_{n_2=1}^{n_1} q_{2n_2} - n_1 > 0 \\ 0, \text{否则} \end{cases}$$

由(1), (2)式计算第 i 个周期车辆总延误 D_i , 从而计算 m 个周期每辆车平均延误

$$d = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{A} \quad (3)$$

A 为 m 个周期内 4 个方向到达车辆总数.

单路口多级模糊控制的仿真程序如图 5 所示. 本文对图 1 的交叉口进行了仿真, 其计算结果如表 5. 为了比较, 将 Pappis 和 Mamdani 模糊控制方法也作了仿真, 其结果也列于表 5 中. 限于篇幅只列出其中一部分.

经过 10min 的仿真, Pappis 等人控制方法车辆平均延误 7.2s/ 辆, 而二级模糊控制方法车辆平均延误 6.3s/ 辆. 可见, 二级模糊控制方法比 Pappis 等人控制方法减少延误 12.5%.

表 5 计算结果

每 10s 内 4 个方向车辆到达率 (辆/s)	东向西 西向东 南向北 北向南	0.1 0.3 0 0.2	0.3 0.2 0.3 0.4	0.4 0 0 0.2	0 0.4 0.3 0.4	0 0.3 0.1 0.3	0.1 0 0.4 0.1	0.3 0.3 0 0.4	0.2 0.4 0.4 0
Pappis 等人控制方法	控制策略	开始 10s 南北向绿灯	不再延长南北向绿灯 转东西向绿灯 10s	东西向绿灯延长 2s 转南北向绿灯 18s	转东西向 绿灯 10s	转南北向 绿灯 10s	南北向绿灯延长 4s 转东西向绿灯 16s		
	车辆延误(s/ 辆)	27	43	172	38	5	101		
二级模糊控制方法	控制策略	开始 10s 南北向绿灯	不再延长南北向绿灯 转东西向绿灯 10s	转南北向 绿灯 10s	南北向绿灯延长 7s 转东西向绿灯 13s	转南北向 绿灯 10s	南北向绿灯延长 4s 转东西向绿灯 16s		
	车辆延误(s/ 辆)	27	43	3	99	18	101		

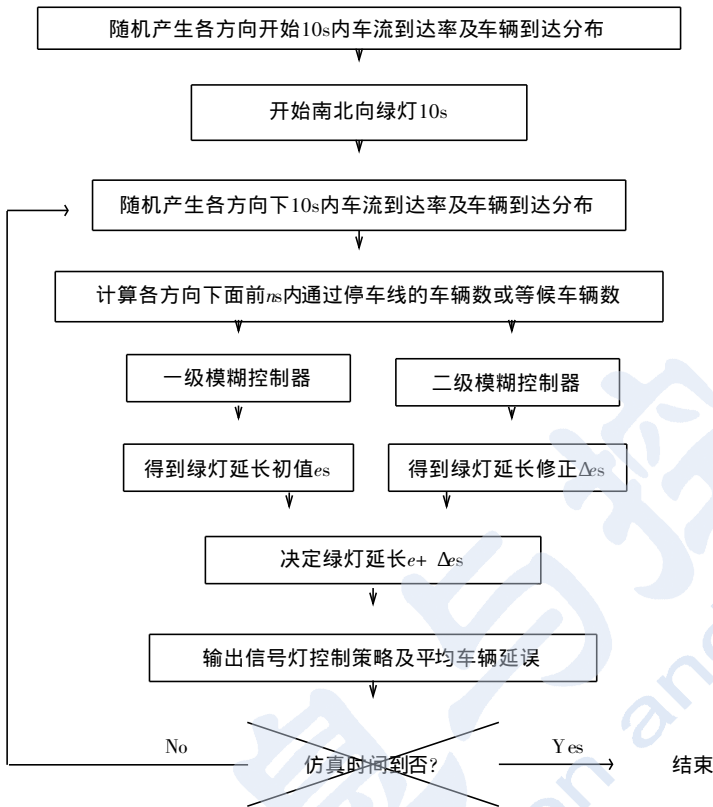


图5 仿真程序框图

5 结束语

本文提出的多级模糊控制方法适合于各种车流大小随机变化的单路口的交通控制, 仿真表明该方法是有用的. 由于控制器的输入都是单路口实时数据, 不需对车流进行预测, 所以具有较好的实时性.

城市交通的智能控制是一种必然趋势, 而模糊控制是其中较有效的方法之一. 本文对此作了初步尝试. 仿真表明控制效果相当有效. 由于是初步尝试, 必然有不完善之处, 我们将在进一步的研究中不断完善和提高.

参 考 文 献

- 1 Pappis C P, Mamdani E H. A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, 1977, SM C-7(10): 707 ~ 717
- 2 诸 静等. 模糊控制原理及应用. 机械工业出版社, 1995
- 3 贺仲雄. 模糊数学及其应用. 天津科技出版社, 1983
- 4 徐冬玲等. 交通系统的模糊控制及其神经网络实现. 信息与控制, 1992, 21(2): 74 ~ 78
- 5 Raju G V S. Adaptive Hierarchical Fuzzy Controller. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, 1993, 23(4): 973 ~ 980
- 6 全永攀. 城市交通控制. 人民交通出版社, 1989

A METHOD FOR REAL-TIME TRAFFIC FUZZY CONTROL OF A SINGLE INTERSECTION

CHEN Hong CHEN Senfa

(*Economic and Management School, Southeast University* 210096)

Abstract This paper presents a fuzzy control approach for a traffic intersection, which is a hierarchical fuzzy control approach, according to the actual situation of urban traffic system and the vehical flow informations in four directions of a single intersection. A hierarchical fuzzy controller has been designed. Computer simulations show that the results are satisfactory.

Key words traffic system, fuzzy control, hierarchical, real-time

作者简介

陈 洪, 男, 32 岁, 硕士生. 研究领域为决策分析, 大系统优化和模糊控制.

陈森发, 男, 52 岁, 教授. 研究领域为决策分析, 网络模型及大系统优化.

(上接第 226 页)

are network levels and equipment levels. The simulation methods of network models and equipment unit modules are discussed respectively. Furthermore, the relationship of the simulation step of network model, equipment unit module and control system is analyzed.

Key words simulation methodology, training simulator, simulation step

作者简介

吴 靖, 男, 27 岁, 博士生. 研究领域为工业过程仿真培训系统的建模与仿真方法.

曾建潮, 男, 34 岁, 工学博士, 教授. 研究领域为 DEDES 的仿真与优化, 过程系统的建模与仿真等.

孙国基, 男, 61 岁, 教授. 研究领域为计算机仿真语言, 工业过程仿真培训系统的建模与仿真方法, 虚拟现实等.

