

# 动态模糊逻辑在智能交通控制系统中的应用研究

程红林

(徐州工程学院信电工程学院, 江苏 徐州 221000)

**[摘要]** 根据道路的实际交通情况采用动态模糊逻辑, 不仅能够表达道路交通模糊信息, 更能描述交通车辆增多、减少等动态性变化趋势。针对当代智能交通系统的动态模糊性, 给出了道路交通信息的动态模糊集表示, 并根据实际情况建立了隶属度函数, 创建了交通控制规则库, 给出了动态模糊逻辑推理过程。为智能交通控制领域提出了新的处理途径和方式, 提高了道路交通信息预测的准确度。

**[关键词]** 智能交通系统, 动态模糊逻辑, 规则库, 预测, 推理

**[中图分类号]** TP18 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2015)03-0045-05

## Research on Application of Dynamic Fuzzy Logic in Intelligent Transportation Control System

Cheng Honglin

(Department of Information and Electrical engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221000, China)

**Abstract:** Not only can we express fuzzy traffic information, but also can we describe dynamic information and trend of traffic by dynamic fuzzy logic (DFL) according to the real traffic conditions. Dynamic fuzzy set is used to express the dynamic fuzzy information of Intelligent Transportation System, selection of membership degree function, establishment of traffic control rule database and reasoning process of dynamic fuzzy logic are raised at the same time. New ways of Intelligent Transportation field are raised to enhance the accuracy of traffic information forecast.

**Key words:** intelligent transportation system, dynamic fuzzy logic, rule database, forecast, reasoning

所谓智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS), 是指将先进的信息技术、电子通讯技术、自动控制技术、计算机技术以及网络技术等有机地运用于整个交通运输管理体系而建立起的一种实时、准确、高效的交通运输综合管理和控制系统。但在实际交通工程中, 许多问题难以公式化, 更适合采用人工智能技术。

近年来, 国内外许多专家学者致力于开发新的交通控制方案, 模糊控制就是新的研究方案之一。模糊控制是智能控制的一种, 它是无模型的控制方法, 便于结合人的思维和经验而不需要建立精确的数学模型, 且能满足实时性的要求。但从实际情况来看, 现有模糊逻辑控制系统远不如一个经验丰富的交警能在各种交通情况下更有效地疏导车流, 其根本原因是控制系统不具有动态模糊性, 即学习过程的动态模糊性、系统变化的动态模糊性、改变系统性能的动态模糊性。因此交叉路口信号灯的动态模糊控制应在交警的多年控制经验和可变的道路交通状况的基础上, 建立描述性的规则库, 对车流进行控制。本文提出基于动态模糊逻辑(Dynamic Fuzzy Logic, DFL)的道路交通控制方法试图解决上述动态性问题。

# 1 交通控制要素

## 1.1 信号相位与周期

信号相位是指交通节点在多个方向上的交通流的组合,它将同时获得通行权.在相位控制中,处于同一个相位的车道必须被同时放行,不同相位的车道可被陆续地放行.图1显示了一个典型的四相位信号<sup>[1]</sup>.

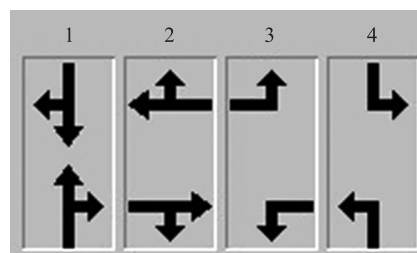


图1 典型路口交通四相位信号

Fig.1 Four phase signal of typical intersection traffic

在交通控制中信号灯从起始相位到终止相位所经历的时间间隔被称为一个信号周期.在交通信号相位控制中,周期要尽量足够长以满足所有相位上的交通流,但又不能太长,否则其他方向的车辆在交叉口处的等待时间变长,延误会变大;同时周期太短,频繁的相位转换将损失很多时间,影响通行效率.因此交通控制系统中需主要合理地设置交叉路口的每个方向最佳信号周期,使得车辆的平均等待时间最短,同时获得最佳的通行效率<sup>[2]</sup>.

## 1.2 绿信比

绿信比是指一个相位的有效绿灯时长与信号周期的比值.在确定信号周期后,关键相位的交通流量将可用的绿灯时间分配给每一相位.若相位时间小于最小绿灯时间,则必须增加周期长度和相位时间,直至相位时间大于等于最小绿灯时间.

# 2 交通流量的动态模糊性

由于到达交叉路口的交通流受到众多因素的影响,且随机性大,因此通过建立精确的数学模型或预先人为地设定多套方案试图进行控制,效果均难以令人满意.尽管许多学者已经提出了众多不同的模糊控制方法,但在实际中仍然存在不足之处.本文利用动态模糊逻辑,针对多相位信号控制,从实际可操作性方面进一步改进系统存在的缺陷,尤其是交通信号相位及相位顺序的优化,力图提高交通信号控制系统的性能.

## 2.1 动态模糊逻辑的基本概念

定义1 设在论域  $U$  上定义一个映射:

$$(\vec{A}, \vec{A}) : (\vec{U}, \vec{U}) \rightarrow [0, 1] \times [\leftarrow, \rightarrow], (\vec{u}, \vec{u}) \mapsto (\vec{A}(\vec{u}), \vec{A}(\vec{u})),$$

记为  $(\vec{A}, \vec{A}) = \vec{A}$  或  $\vec{A}$ , 则称  $(\vec{A}, \vec{A})$  为  $(\vec{U}, \vec{U})$  上的动态模糊集(Dynamic Fuzzy Sets, DFS), 称  $(\vec{A}(\vec{u}), \vec{A}(\vec{u}))$  为隶属函数(Membership Function)对  $(\vec{A}, \vec{A})$  的隶属度(Membership Degree)<sup>[3]</sup>.

任意一个数  $a \in [0, 1]$ , 均可将  $a$  动态模糊化(DF)为:  $a = (\vec{a}, \vec{a})$ ,  $a = \vec{a}$  or  $\vec{a}$ ,  $\max(\vec{a}, \vec{a}) \triangleq \vec{a}$ ,  $\min(\vec{a}, \vec{a}) \triangleq \vec{a}$ . 这样即可直观地表示  $a$  状态的发展变化趋势.

## 2.2 交通控制信息动态模糊集

假设当前相位为  $j$ , 当前相位主队车辆排队长度为  $q_j$ , 红灯相位最大的车辆排队长度  $q_{jred}$ , 当前交叉口车辆排队长度的范围为  $[0, q_{max}]$ , 确定比例因子  $k_i = 1/q_{max}$ , 使得论域控制在  $[0, 1]$ . 基于动态模糊逻辑的交通控制中, 动态模糊集论域可表示为:  $(\vec{U}, \vec{U}) = [(\vec{0}, \vec{0}), (\vec{1}, \vec{1})] = [0, 1] \times [\leftarrow, \rightarrow]$ .

动态模糊集  $(\vec{A}, \vec{A})$  和  $(\vec{B}, \vec{B})$  分别表示车辆的多和少. 其隶属度函数(如图2所示)分别表示为:

$$\vec{A}(\vec{u}) = \begin{cases} 0, & 0 \leq \vec{u} \leq 0.2; \\ 0.85 + \left( \frac{\vec{u} - 0.2}{0.3} \right)^{-2}, & 0.2 < \vec{u} \leq 1. \end{cases} \quad (1)$$

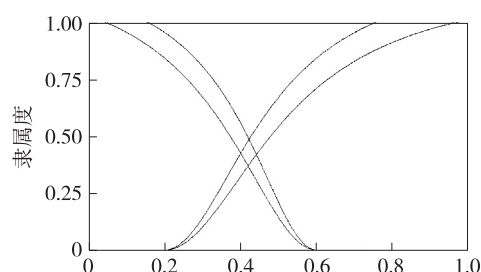


图2 排队车辆模糊集隶属度函数

Fig.2 Membership degree function for queuing vehicles

$$\vec{A}(\vec{u}) = \begin{cases} 0, & 0 \leq \vec{u} \leq 0.2; \\ 0.8 + \left( \frac{\vec{u} - 0.2}{0.25} \right)^{-2}, & 0.2 < \vec{u} \leq 1. \end{cases} \quad (2)$$

$$\vec{B}(\vec{u}) = \begin{cases} 0, & 0.6 \leq \vec{u} \leq 1; \\ 0.8 + \left( \frac{0.6 - \vec{u}}{0.2} \right)^{-2}, & 0 \leq \vec{u} < 0.6. \end{cases} \quad (3)$$

$$\vec{B}(\vec{u}) = \begin{cases} 0, & 0.6 \leq \vec{u} \leq 1; \\ 0.8 + \left( \frac{0.6 - \vec{u}}{0.25} \right)^{-2}, & 0 \leq \vec{u} < 0.6. \end{cases} \quad (4)$$

动态模糊集不仅能够反映道路交通流量的模糊性,更能体现该模糊性的动态趋势. 设  $(\vec{Q}_j, \vec{Q}_j)$  表示绿灯相位车辆的动态模糊集,现有道路流量状况描述为:“绿灯相位车辆很多并不断增多”,在模糊逻辑中常见表示形式为  $(0.8, 0.9)$ ,其中,0.8表示车辆排队长度的度量,0.9表示车辆多的程度. 这种方法的缺陷是表示了车辆很多及多的程度,缺乏不断增多或减少的动态变化过程描述,不利于对交通采取相应的控制. 若采用动态模糊逻辑描述为  $(\vec{0.8}, \vec{0.9})$ ,其中“ $\rightarrow$ ”表示车辆逐渐增加,  $\vec{0.9}$ 除了表示车辆多的程度,且有不断增多的趋势,由此可见动态模糊逻辑兼顾了对数量的模糊性和动态性的描述.

### 3 基于动态模糊逻辑的信号控制推理方法

由于在道路交通控制应用领域的知识有很多不确定或不精确性,即研究车辆队列长短具有动态性和模糊性,因此在进行信号判断和控制中需使用DFL的推理机制. DFL推理的基本模式为:

$$DF(A) \xrightarrow{DF(R)} DF(C),$$

其中  $DF(A)$  为DFL推理的前提或条件,  $DF(C)$  为DFL推理的结论,  $DF(R)$  是前提与结论之间的动态模糊关系<sup>[4]</sup>. 结合本文应用和多条件下的推理扩展机制将基本模式扩展为:

$$DF(A_1) \wedge DF(A_2) \wedge \cdots \wedge DF(A_n) \xrightarrow{DF(R)} DF(C).$$

#### 3.1 DFL的知识表示

在交通控制应用领域的知识或信息具有动态模糊性,例如“绿灯相位车辆越来越少”、“红灯相位车辆越来越多”等,在动态模糊逻辑中动态模糊知识可表示为  $A_i((\vec{x}, \vec{x}):S)$ ,其中  $(\vec{x}, \vec{x})$  表示动态模糊对象,  $A$  表示动态模糊对象的属性,  $S$  表示对象  $(\vec{x}, \vec{x})$  属性  $A$  的动态模糊状态,该模糊状态可由动态模糊隶属度(DF)表示. 例如“当前相位车辆减少则信号灯时间要减少”可表示为:

$$(A_1((\vec{x}_1, \vec{x}_1)): S_1) \rightarrow (A_2((\vec{x}_2, \vec{x}_2)): S_2),$$

式中,  $A_1$  表示车辆队列状态,  $(\vec{x}_1, \vec{x}_1)$  表示车辆队列,  $S_1$  表示减少;  $A_2$  表示信号灯状态,  $(\vec{x}_2, \vec{x}_2)$  表示信号灯,  $S_2$  表示时间减少.

#### 3.2 推理规则描述

推理规则将推理模式转换为“IF...THEN...”结构,即将DFL推理的扩展机制:

$$DF(A_1) \wedge DF(A_2) \wedge \cdots \wedge DF(A_n) \xrightarrow{DF(R)} DF(C),$$

转换为“IF  $DF(A_1)$  and  $DF(A_2)$  and  $\cdots$  and  $DF(A_n)$  THEN  $DF(C)$ ,  $DF(R)$ ”<sup>[4]</sup>.

设  $(\vec{G}_j, \vec{G}_j)$  表示绿灯时间增加的动态模糊集,设  $\vec{e}g, \vec{e}g$  表示绿灯时间增加程度的修正值,  $(\vec{q}_A, \vec{q}_A)$  和  $(\vec{q}_B, \vec{q}_B)$  分别表示动态模糊集  $(\vec{A}, \vec{A})$  和  $(\vec{B}, \vec{B})$  中绿灯相位主队列车队长度程度,  $(\vec{q}_{redA}, \vec{q}_{redA})$  和  $(\vec{q}_{redB}, \vec{q}_{redB})$  分别表示动态模糊集  $(\vec{A}, \vec{A})$  和  $(\vec{B}, \vec{B})$  中红灯相位主队列车队排队程度,根据推理规则描述,对于交通控制系统的动态模糊绿灯延迟控制器(Dynamic Fuzzy Green Extension Controller, DFGE)的规则库中规则可描述如下:

$$(\vec{q}_A, \vec{q}_A) = (\vec{1}, \vec{1}) \wedge (\vec{q}_{redA}, \vec{q}_{redA}) = (\vec{1}, \vec{1}) \rightarrow (\vec{e}q, \vec{e}q) = (\vec{0.15}, \vec{0.15}), (\vec{0.9}).$$

//当前相位下红灯队列和绿灯队列车辆都非常多,则绿灯相位时间可稍作延长(提高通行效率).

$$(\vec{q}_A, \vec{q}_A) = (\vec{1}, \vec{1}) \wedge (0.8, 0.8) \leq (\vec{q}_{red4}, \vec{q}_{red4}) \leq (\vec{1}, \vec{1}) \rightarrow (\vec{eg}, \vec{eg}) = (\vec{0.2}, \vec{0.2}), (\vec{0.9}).$$

//当前相位下绿灯队列车辆非常多,红灯队列车辆很多并有逐渐增大趋势,则绿灯相位时间可稍作延长.

$$0.8 \leq (\vec{q}_A, \vec{q}_A) \leq (\vec{1}, \vec{1}) \wedge (0.5, 0.5) \leq (\vec{q}_{red4}, \vec{q}_{red4}) \leq (0.8, 0.8) \rightarrow (\vec{eg}, \vec{eg}) = (\vec{q}_A, \vec{q}_A) - (\vec{q}_{red4}, \vec{q}_{red4}), (\vec{1}, \vec{1}).$$

//当前相位下绿灯队列车辆很多并有逐渐增多趋势,红灯队列车辆不是很多,则绿灯相位时间可根据两个队列长度之差稍作延长.

.....

$$(\vec{q}_A, \vec{q}_A) = (\vec{1}, \vec{1}) \wedge (0.8, 0.8) \leq (\vec{q}_{redB}, \vec{q}_{redB}) \leq (\vec{1}, \vec{1}) \rightarrow (\vec{eg}, \vec{eg}) = (\vec{1}, \vec{1}), (\vec{1}, \vec{1}).$$

//当前相位下绿灯队列车辆非常多且红灯排队车辆很少,则大大增长绿灯时间.

### 3.3 动态模糊逻辑规则激活机制

规则库中任何一个规则被激活后才能使用其进行推理,因此在动态模糊逻辑的推理模型中需计算输入的动态模糊知识和动态模糊规则前提条件的动态模糊相似度,一般采用DF阈值,当大于等于这个阈值时,可以认为是相似的.设当前知识的动态模糊状态 $S'$ 的动态模糊隶属度为 $\mu(S')$ ,与之相对应的规则前提条件的动态模糊状态 $S$ 的动态模糊隶属度为 $\mu(S)$ ,则状态 $S'$ 与 $S$ 的动态相似度DFM<sup>[5]</sup>可表示为:

$$DFM = \begin{cases} (\vec{1}, \vec{1}), & \mu(S) = \mu(S'); \\ (\vec{1}, \vec{1}) - |\mu(S) - \mu(S')|, & \mu(S) \neq \mu(S'). \end{cases} \quad (5)$$

在IF DF( $A_1$ ) and DF( $A_2$ ) and ... and DF( $A_n$ ) THEN DF( $C$ ), DF( $R$ )模式中,其激活条件为  $\min_{i=1, \dots, n} \{DFM_i\} \geq \eta$ ,  $(\vec{0}, \vec{0}) \leq \eta \leq (\vec{1}, \vec{1})$  为DF规则的阈值.

### 3.4 动态模糊逻辑连接推理方法

本文中使用IF DF( $A_1$ ) and DF( $A_2$ ) and ... and DF( $A_n$ ) THEN DF( $C$ ), DF( $R$ )模式,前提条件分别为  $(\vec{A}, \vec{A})$  和  $(\vec{B}, \vec{B})$  动态模糊集中的  $(\vec{q}_A, \vec{q}_A)$ ,  $(\vec{q}_B, \vec{q}_B)$ ,  $(\vec{q}_{red4}, \vec{q}_{red4})$  和  $(\vec{q}_{redB}, \vec{q}_{redB})$ , 后件为动态模糊集  $\vec{G}_j, \vec{G}_j$  的  $(\vec{eg}, \vec{eg})$ , 则连接推理机制的集合过程如下:

- (1)初始化集合  $Q_A, Q_B, Q_{red4}, Q_{redB}$  和  $G$  为空;
- (2)初始化队列  $F_A = F_B = F_{red4} = F_{redB}$ ;
- (3)输入所有推理前提,使得  $F_A = \{A\}, F_B = \{B\}, F_{red4} = (\text{red}A), F_{redB} = (\text{red}B)$ ;
- (4)考察所有队列,若队列都为空转(6),否则:
- (5)

1)若队列  $F_A \neq \emptyset$ ,  $F_A$  出队 ( $X = \text{out}(F_A)$ ), 计算  $X$  动态模糊相似度DFM, 若  $DFM < \eta$ , 不激活规则; 若  $DFM \geq \eta$ , 激活规则, 将结论放入  $Q_A$ ;

2)若队列  $F_B \neq \emptyset$ ,  $F_B$  出队 ( $X = \text{out}(F_B)$ ), 计算  $X$  动态模糊相似度DFM, 若  $DFM < \eta$ , 不激活规则; 若  $DFM \geq \eta$ , 激活规则, 将结论放入  $Q_B$ ;

3)若队列  $F_{red4} \neq \emptyset$ ,  $F_{red4}$  出队 ( $X = \text{out}(F_{red4})$ ), 计算  $X$  动态模糊相似度DFM, 若  $DFM < \eta$ , 不激活规则; 若  $DFM \geq \eta$ , 激活规则, 将结论放入  $Q_{red4}$ ;

4)若队列  $F_{redB} \neq \emptyset$ ,  $F_{redB}$  出队 ( $X = \text{out}(F_{redB})$ ), 计算  $X$  动态模糊相似度DFM, 若  $DFM < \eta$ , 不激活规则; 若  $DFM \geq \eta$ , 激活规则, 将结论放入  $Q_{redB}$ ;

5)转(3);

(6)求出集合  $G = Q_A \cap Q_B \cap Q_{red4} \cap Q_{redB}$ , 输出  $G$ .

## 4 结语

本文在结合交通信号控制中的动态模糊特性的基础上,提出了基于动态模糊逻辑的交通信息处理方式,不仅使得道路交通信息能够表示模糊的道路交通信息,更能够描述其动态化特征,非常适合表示不精确和动态变化的信息.在如图3所示的徐州市新城区某一典型局部路网,定时控制和动态模糊逻辑控制所得到的统计效果如图4所示.

通过动态模糊控制效果和定时控制效果可以看出,本文所设计的交通控制器进行交通控制时具有明显的优势,是实现城市交通智能控制的一种有效方法.



图3 徐州市新城区某一典型局部路网

Fig.3 A typical local road network in Xuzhou City

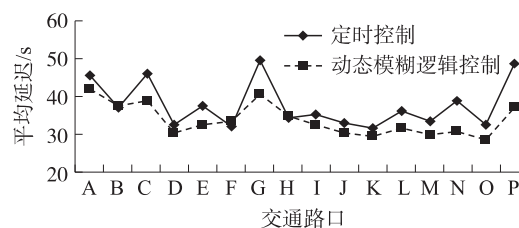


图4 平均延迟对照图

Fig.4 The average delay comparison chart

### [参考文献](References)

- [1] 姚亚夫,曹锋.多路口模糊控制及其仿真研究[J].机械工程与自动化,2006(3):108-109,112.  
Yao Yafu, Cao Feng. Study on fuzzy control of multiple intersections and its simulation[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2006(3): 108-109, 112. (in Chinese)
- [2] 赵建玉,贾磊,王旭东.城市主干道交叉口交通流的模糊控制[J].计算机工程与应用,2004(29):9-10,57.  
Zhao Jianyu, Jia Lei, Wang Xudong. Fuzzy control for traffic flow of urban arterial roads intersection[J]. Computer Engineering and Applications, 2004(29): 9-10, 57. (in Chinese)
- [3] 李凡长,刘贵全,余玉梅.动态模糊逻辑引论[M].昆明:云南科技出版社,2005:7.  
Li Fanzhang, Liu Guiquan, Yu Yumei. An Introduction to Dynamic Fuzzy Logic[M]. Kunming: Yunnan Science Technology Press, 2005: 7. (in Chinese)
- [4] 李凡长.动态模糊数据运算及模型研究[J].计算机工程,2001,27(3):106-110.  
Li Fanzhang. Research on dynamic fuzzy data operation and its model[J]. Computer Engineering, 2001, 27(3): 106-110. (in Chinese)
- [5] 李凡长,钱旭培.机器学习理论及应用[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2009:10.  
Li Fanzhang, Qian Xupei. Machine Learning Theory and Its Applications[M]. Hefei: Press of University of Science & Technology of China, 2009: 10. (in Chinese)

[责任编辑:严海琳]