

基于模糊理论的信号交叉口控制研究

成卫, 张瑾

(昆明理工大学 交通工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 介绍了一种信号交叉口的模糊交通控制方法和它的仿真结果. 控制器从交通检测器获得信息, 并根据专家知识库中的模糊控制规则优化信号配时, 设计出适应交通变化的相位次序和相位长度. 为了评价其实施效果, 运用仿真技术, 把设计控制方法和传统的交通控制方法进行比较. 一个信号周期内车辆的排队长度被作为评价指标, 结果显示, 控制效果优于定时控制方法, 并在交通量大时, 还优于感应控制方法.

关键词: 信号交叉口; 模糊理论; 交通控制; 计算机化仿真

中图分类号: U491 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2004)03-0098-04

A Study on Traffic Control of Signalized Intersection Based on Fuzzy Logic

CHENG Wei, ZHANG Jin

(Faculty Transportation Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: A fuzzy traffic control theory and its simulation results at intersection are presented. The controller gets information from its traffic detectors, and gives optimal signals based on the fuzzy rules. It manages phase sequences and phase lengths adaptively to traffic conditions. To evaluate its performance, the proposed method is compared with the conventional methods in of simulated situation. The queue of the vehicle in a cycle is used as a performance index. The study shows that this method is more effective than the fixed control method in the effect of control, and even is superior to the actuated control in the volume of traffic flow.

Key words: signalized intersection; fuzzy logic; traffic control; computerized simulation

0 引言

目前, 信号交叉口控制方法主要有三种: 定时控制、半感应控制和全感应控制. 第一种控制方法基于历史数据, 根据一定的计算方法给出信号交叉口配时方案; 后两种方法的共同点是它们能够根据实际交通情况, 动态调整信号配时方案, 以便提高信号绿灯时间的利用率. 虽然有广泛地应用, 但有时它们不能有效地应付复杂的、实时变化的交通状况, 主要表现在绿灯时间的利用率偏低. 研究信号交叉口交通流运行规律可以发现其较强的随机性和不确定性, 决定其特征难以用精确的数学模型表示. 而模糊数学针对的研究对象通常正是那些包含非定量信息的不确定性系统, 它能利用模糊集的概念将不确定信息定量地表示出来, 并以接近人的形象思维方式进行定性分析和推理. 为此, 将模糊控制技术引入到交通信号控制中, 实现交通的自适应控制, 是城市道路交通控制的发展方向之一. 其主要目标是:

- 1) 模糊交通信号控制的理论分析;
- 2) 运用模糊理论为信号群建立模糊控制规则;
- 3) 确立有效的模糊控制规则, 通过运用仿真模拟和现场实验使语言变量的隶属函数标准化;
- 4) 建立模糊自适应信号控制器的原理.

收稿日期: 2003-06-06.

第一作者简介: 成卫(1972~), 男, 博士, 讲师. 主要研究方向: 交通信息工程及控制. E-mail: chengwei-ding@163.com
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章建立了一种基于模糊理论的信号交叉口控制方法, 介绍了适用于信号交叉口的规则库建立方法和控制算法的结构.

1 模糊信号控制框架

1.1 概述

模糊信号控制就是将语言和不确定的数据作为有用的工具运用于信号配时中, 其基本原则就是根据专家知识建立控制模型, 而不是根据过程本身建立模型. 模糊控制器的设计要求专家知识和交通控制的经验来构建语言模式并用于交通控制中.

无论是感应控制还是模糊控制目的都是实现实时控制, 而车辆检测器是实现实时控制的关键因素. 设立两个检测器以获得每一车道上的交通信息, 即前检测器和后检测器. 前检测器设置在交叉口, 后检测器设置在距离交叉口有一定距离地方. 检测器的位置根据道路的长度而定, 对于大于或等于 400 m 的道路, 后检测器离交叉口 150 m. 其它情况下, 根据道路长度适当地减少检测器间的距离.

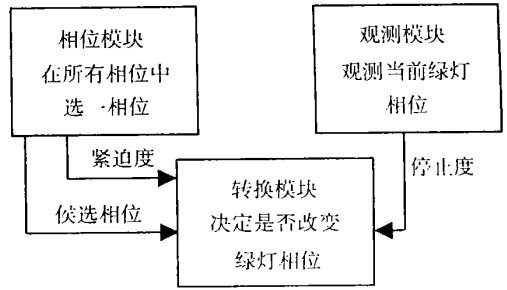


图 1 模糊交通信号控制结构

具体到实现交叉口的控制, 关键在于控制信号配时:

- (1) 是否终止当前的相位和改变到下一最合适的相位;
- (2) 延长当前相位. 换句话说, 一个控制器不断地收集信息并评估每一引道的交通状况, 选择最合适的方案. 这一控制过程包括以下几个要素: 输入、推理和输出. 模糊交通信号控制的结构如图 1 所示.

1.2 信号设计

对于相位的转换, 控制器有 3 个模型: 相位模块、观察模块和决策模块. 相位模块的作用是在所有的相位中(除当前的绿灯相位)选择最为紧迫的相位. 观测模块的作用是负责观测绿灯相位下的交通状况. 决策模块是根据前两个模块的输出值决定是否转换绿灯相位. 如果相位模块中所选相位下的交通状况比观测模块中所检测相位下的交通状况更紧迫, 决策模块将转换绿灯相位到所选相位, 否则绿灯相位将继续.

1.2.1 相位模块

在所有可能的相位中(如图 2 所示), 选择一个相位作为下一绿灯相位(除了当前的绿灯相位). 这个模块观察除当前绿灯相位的所有相位交通状况并选择最为紧迫的相位. 它的输入是除当前绿灯相位以外的所有相位, 而输出是所选定的相位和它的紧迫度. 为获得选定的相位, 必须建立相位的紧迫度. 相位的紧迫度反映了相位交通状况是如何的恶劣, 它的获得是通过计算相应相位下所有交通流紧迫度的平均值得到的. 而交通流紧迫度是交通流交通状况的描述. 在模块中, 比较所有相位的紧迫度, 并选择具有最大紧迫度的相位为候选方案. 评价交通流紧迫度的模糊规则有 2 个输入 1 个输出. 输入量: (1) 一条车道上两检测器间的等待车辆数 (queue); (2) 每条车道上车辆的到达率 (arrival rate). 输入量: 紧迫度 (urgency), 与相应的交通流对应. 其中, 输入量反映了当时的交通状况. 将输入量的数值应用到相位模块的模糊规则中, 然后将模糊紧迫度解模糊, 就得到交通流的紧迫度.

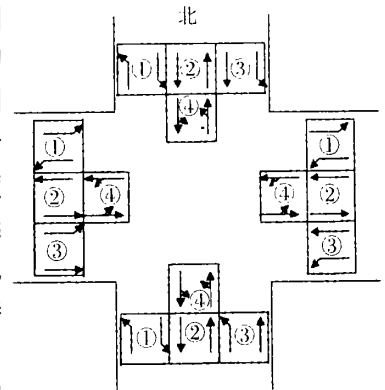


图 2 平面交叉口的可能相位匹配图

相位模块模糊规则建立的基本思路是,随着等待车辆数和上流车辆到达率的增加,交通状况变得更紧迫.对每一输入和输出量建立模糊量.表1显示了部分模糊规则.

语言变量的模糊化显示于图3.

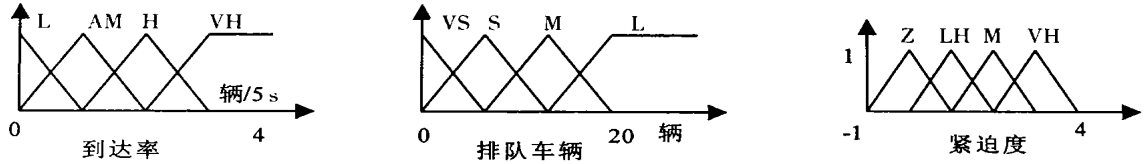


图3 相位模块中语言变量的模糊集和模糊化等级

表1 相位模块的部分规则

规则	到达率(Arrival rate)	排队车辆(Queue)	紧迫度(Urgency)
R1	小的(L)	非常少(VS)	零(Z)
R2	差不多(AM)	少的(S)	稍紧(LH)
R3	大的(H)	中等(M)	中等(M)
R4	非常大(VH)	大量的(L)	很紧(VH)
...

1.2.2 观测模块

观测模块观测绿灯相位的交通状况.根据观测结果,确立出停止度.停止度表明控制器终止当前绿灯相位的可能性.

本模块的模糊规则库使用的输入变量是驶出率(outrate)和两检测器间剩余的車輛数(R_{car}),输出变量是停止度(stop).驶出率是最后5s每一车道上驶出的車輛数.输入变量反映的是当前的使用率和相应相位状况下的拥挤程度.如果某一绿灯相位涉及两条以上的交通流,将取最大的驶出率和車輛数.例如当前的绿灯相位是图2的相位5,左转车道和直行车道上分别有相应的驶出率和車輛数,为了计算相位5的停止度,分别取驶出率和剩余車輛数的最大值作为输入量.

表2显示了观测模块的部分规则.如果一股交通流赋予了足够长的绿灯时间,那么在单位时间内驶出的車輛数和车道上维持的車輛数将很少.这样一来,如果驶出率和車輛数少,停止度将要增加.

语言变量的模糊化如图4所示.

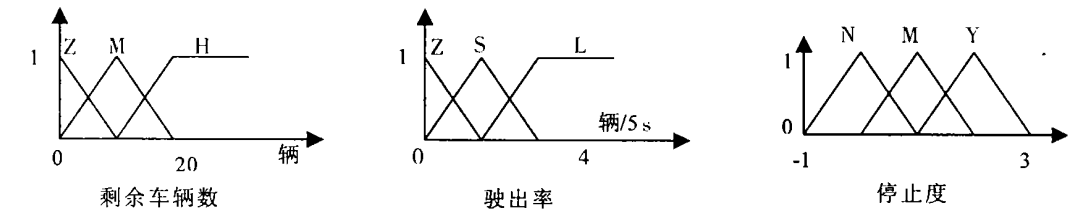


图4 观测模块中语言变量的模糊集和模糊化等级

表2 观测模块的部分规则

规则	驶出率(Outrate)	剩余車輛(R _{car})	停止度(stop)
R1	零(Z)	零(Z)	是(Y)
R2	小的(S)	高的(H)	可以(M)
R3	大的(L)	高的(H)	不(N)
...

1.2.3 转换模块

转换模块的作用在于对是否转换绿灯相位作出决定.它的输入是侯选方案、紧迫度和停止度,输出是决策.侯选方案是在相位模块中选定的相位,紧迫度是它相位的紧迫程度.停止度是当前绿灯相位的停止程度.决策是当前相位转换到侯选相位的决定.模糊推理结果是一个模糊量,本模块对其解模糊以决定是否把当前绿灯相位转换到侯选相位.模块的部分规则库表3所示.

语言变量的模糊化如图5所示.

表3 决策模块的部分规则

规则	停止度(stop)	紧迫度(urgency)	转换(transition)
R1	不(N)	稍紧(LH)	不(N)
R2	可以(maybe)	中等(M)	不(N)
R3	可以(maybe)	稍紧(LH)	是(Y)
R4	是(Y)	中等(M)	是(Y)
...

解模糊是模糊化的逆过程, 它把模糊推理得到的控制作用的模糊集转化为执行机构的精确量. 文中的研究工作采用了重心法, 即计算隶属函数曲线包围区域的重心. 对于连续论域的情形, 设 U 是某一变量 u 在论域 U 上的模糊集合, 则去模糊化的结果为:

$$u_c = \frac{\int_U \underline{U}(u) u \, du}{\int_U \underline{U}(u) \, du}$$

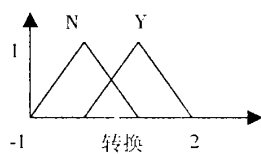


图 5 决策模块中语言变量的模糊集和模糊化等级

2 仿真研究结果

为检验本控制器的有效性, 利用交通仿真技术将本控制效果与定时、感应控制效果进行比较. 仿真的核心是实时交通流的产生. 在实际情况下, 有许多影响交通流的因素, 以至于难于全面地考虑到它们. 为此将通过保持车头时距来模拟真实的车流. 车头时距是决定饱和流率的因素, 而交叉口通行能力又是由饱和流率决定. 因此, 如果车头时距值接近于真实值, 交叉口的通行能力和车辆的运行就类似于真实情况. 故根据交通流理论建立仿真模型, 并在同等条件下进行对比. 其中:

- 1) 所有车辆单位均为标准小客车当量;
- 2) 控制均为两相位控制;
- 3) 检验的目标则为交叉口处入口处的平均每个信号周期车辆排队长度.

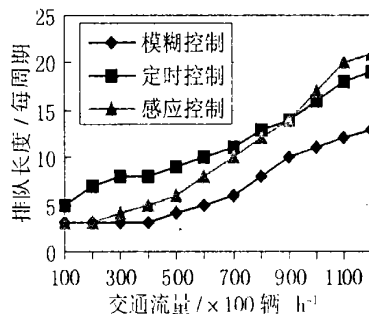


图 6 三种控制方法的效果比较

图 6 给出了定时控制方法、感应控制方法和模糊控制方法的效果对比.

该图的横坐标对应交通量, 车头时距服从泊松分布; 纵坐标为排队长度/每周期. 从图中可以看出, 在交通量较小时模糊控制要较定时控制优越得多, 显而易见, 模糊控制大大降低了车辆排队长度. 从整个过程可见, 在交通量比较小时, 感应控制的方法也能很好地控制交通流, 而交通量比较大时, 模糊控制的方法更明显.

3 结论

模糊控制的效果比定时控制的好, 甚至比感应控制的方法好. 这主要是因为它的适应性强. 这种适应性体现在对即将进入交叉口的车辆的感应和绿灯时间的延长. 在定时控制中, 无论交叉口的车流量如何, 绿灯时间都不会延长. 对感应控制而言, 无论何时, 只要车辆一出现, 绿灯时间就以固定的步长延长, 直至最大绿灯时间. 在模糊控制中, 时间的延长不是固定数值. 他们都是象长、中、短这样的模糊变量. 被感应到的车辆数, 在模糊控制器的输入中也被转换为模糊值. 此外, 根据语言规则, 模糊控制类似于交通警察的现场指挥, 能够根据各交叉口的交通情况, 灵活确定各相位的通行权和通行时间的长短, 极大地提高绿灯有效利用率.

参考文献:

[1] 诸静, 等. 模糊控制原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995. 53~ 61.
 [2] 李建武, 皇甫正贤. 城市单路口交通模糊控制系统的实现[J]. 电气传动自动化, 2000, 22(2): 22~ 25.
 [3] 温惠英, 等. 一种信号交叉口模糊交通控制方法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2001, 29(12): 21~ 25.
 [4] 韩启纲, 等. 计算机模糊控制技术与仪表装置[M]. 北京: 中国计量出版社, 1999. 88~ 102.
 [5] Jee- Hyong Lee, Lee- Kwang. Distributed and Cooperative Fuzzy Controllers for Traffic Intersections Group[J]. IEEE Transaction on Systems, Man, And Cybernetics- Part C: Applications and Reviews, 1999, 29(2): 263~ 271.
 [6] Lee C. C. Fuzzy logic in control system: Fuzzy logic controller- part- I & II[M]. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, 1990, 20(2): 404~ 435.