

文章编号: 1001-0920(2005)11-1221-04

交通拥挤控制的实时决策支持模型

徐丽群

(上海交通大学 管理学院, 上海 200052)

摘要: 针对交通拥挤的快速检测和控制问题, 设计了一种基于管理者知识和经验, 能够实时反映交通拥挤状况的决策支持模型. 设计的自动决策支持模型中包含了概念模型和推理模型, 推理模型中集成了交通拥挤自动检测算法和拥挤交通量控制方案选择的模糊推理算法. 研究结果表明, 采用自动决策支持模型能在一定程度上取代交通管理者对拥挤的管理, 从而提高拥挤管理的效率和决策质量.

关键词: 交通拥挤; 实时决策支持模型; 模糊控制

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Real-time Decision Support Model for Traffic Congestion Control

XU Li-qun

(School of Management, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200052, China. Correspondent: XU Li-qun, E-mail: lqxu@sjtu.edu.cn)

Abstract: Aimed at resolving the quick measurement and control of traffic congestion, a real-time decision support model, which can reflect timely traffic congestion situations, is designed based on managers' knowledge and experiences. This model contains two parts, one is conceptive model and the other one is reasoning model. The fuzzy reasoning algorithm of traffic control and the automatic detection algorithm for traffic congestion are integrated in the reasoning model. The results show that this real-time decision support model can take place of traffic engineers' management works and raise the efficiency of congestion management.

Key words: Traffic congestion; Real-time decision support model; Fuzzy control

1 引言

一般情况下, 当城市高速公路发生突发性交通拥挤时, 对其控制往往由管理者凭借自己的经验进行管理. 为尽快使交通流恢复到正常水平, 需要管理者具有丰富的经验, 不仅能快速判断出事件的类型和可能产生的拥挤程度, 而且能快速反映交通流的动态变化情况, 及时实施一些有效的管理方法, 用于改善拥挤地区的交通条件和网络中拥挤的蔓延^[1]. 这种要求对管理者造成了很大压力, 管理效果不理想. 因此, 发展一种能够取代管理者管理思想的自动决策支持系统是非常重要的.

模糊逻辑推理技术能够有效地处理非确定性决

策过程. Sasaki 和 Akiyama^[2]指出, 模糊性潜在于交通系数中(如交通流量、交通需求量等), 模糊逻辑推理为解决复杂交通工程问题提供了很大的可能性. Dusan 和 Katarina^[3]指出, 管理者对交通拥挤的管理具有一定的模糊性, 建议应用模糊推理以制定恰当的控制程序. Jarkko 和 Esko^[4]指出, 模糊控制算法适合于解决不同的交通和运输问题, 尤其在交通信号控制方面. Iisakki^[5]提出一个基于智能体建模技术的交通信号控制系统, 在这个系统中, 智能体的决策支持就是采用模糊推理方法. Sazi 和 Ergun^[6]应用模糊逻辑推理设计了孤立交叉口的信号控制优化方案, 对信号配时优化提供了解决的思路.

收稿日期: 2004-11-09; 修回日期: 2005-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(50278055).

作者简介: 徐丽群(1963—), 女, 长春人, 副教授, 博士, 从事智能交通系统的研究.

本文设计了一种能够反映管理者决策思想和实时反映交通拥挤状况的自动决策支持模型,在道路网络发生突发性交通拥挤的情况下,利用模糊推理技术设计了城市快速干道交通控制的模糊推理算法。通过对交通管理者的调研,建立了模糊推理规则,将推理结果与实际管理者凭经验控制的结果进行比较,效果良好,能够反映管理者的决策思想。

2 交通拥挤控制的实时决策支持概念模型

模型主要由3部分组成,即输入部分、中间处理部分和输出部分,如图1所示。输入部分主要是各种不同数据源的信息数据输入,包括事件自动检测系统、道路交通数据探测器、信号控制器和事件目击者的报告信息等;输出部分主要是网络交通的控制方案,可通过道路进口信号灯控制和路线控制来实现;中间处理部分是系统的核心部分,这部分对输入的信息和数据进行处理分析,并根据交通流状态数据库和管理目标数据库提供的信息,采用一定的推理方法,推理出可能的解决问题的答案,即交通控制方案。

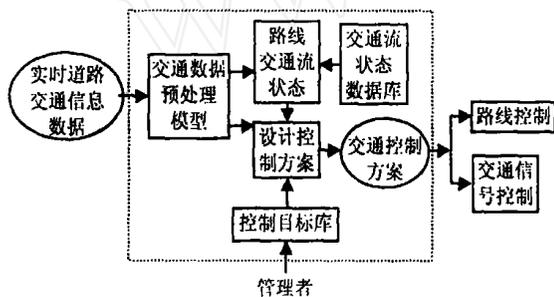


图1 交通拥挤控制的实时决策支持概念模型

3 交通拥挤控制的实时决策支持推理模型

按照图1的交通拥挤控制决策支持概念模型,在实际发生交通拥挤时,管理者根据当前交通流状态、拥挤控制目标和自己的知识经验,经过推理作出交通控制决策。这一推理过程可描述为

$$P = f(Q, K). \quad (1)$$

式中: P 为设计的拥挤控制方案; Q 为交通流状态; K 为拥挤控制目标,包括用户平衡目标、系统最优目标、维持期望的道路服务水平等。

对式(1)的模型进行推理时,首先确定交通流状态,然后确定推理方法。

3.1 交通流状态的确定

描述一个路段的交通流状态,需要考虑两方面因素,即路段所具有的静态性能和所处的动态交通环境。前者可用路段特性来描述,如路段通行能力、几何特性、交通恢复能力、路段位置、速度限制和路段类型等;后者可用交通流量、天气条件、交通管制

道路建设和维护等因素来描述。这两方面因素综合作用,就形成一个路段的交通流状态。一般说,用路段交通流量 v 与路段通行能力 C 的比值,即用 v/C 值来反映路段交通流状态比较合适。在用 v/C 值进行交通流状态判定时,关键问题是路段交通流量的实时测量。

在拥有现代化城市交通管理系统的交通网络中,路段交通流量的实时测量可采用交通信息的自动采集技术,如感应线圈探测器、超声波探测器、红外线探测器、微波探测器、全球定位系统、视频图像处理 and 自动车辆识别等。目前应用较为广泛的动态数据检测技术为感应线圈检测技术和视频图像处理技术,上海高架路系统就采用了感应线圈检测技术。

利用感应线圈检测技术检测的流量计算公式为^[7]

$$q_i(k) = N_i(k)/T. \quad (2)$$

式中: q_i 表示第 k 个周期内第 i 车道的流量, $N_i(k)$ 表示第 k 个周期内第 i 车道检测器的计数值, T 为检测器计数周期定时。

令 $r = v/C$, 则实时测量公式为

$$r = \left(\sum_{i=1}^n q_i(k) \right) / \left(\sum_{i=1}^n C_i \right). \quad (3)$$

式中: $r_i(k)$ 表示第 k 个周期内第 i 车道的 v/C 值, C_i 为第 i 车道的通行能力。

参考美国高速公路基本路段的服务水平定义和日本的拥挤划分标准,结合我国上海市快速干道系统的交通实际情况,本文将自动决策支持模型中的交通流状态划分为3类:正常交通、拥挤交通和严重拥挤交通。其判断标准为

$$\begin{cases} \text{正常交通: } r < 0.80; \\ \text{拥挤交通: } 0.80 \leq r < 1.0; \\ \text{严重拥挤交通: } r \geq 1.0. \end{cases}$$

3.2 交通控制决策支持模型的推理算法

交通控制方案的制定、交通流状态和拥挤控制目标之间的关系非常复杂,难以用精确的数学模型表达,而交通流状态和拥挤控制目标这两个变量本身具有一定的模糊性,因此利用模糊推理技术对决策支持模型进行求解是可行的。

交通控制决策支持模型的推理过程是:根据检测器检测到的交通流量信息,计算 v/C 值,判断此时路段交通流状态;根据交通管理者设定的交通拥挤控制目标,利用模糊推理规则进行模糊判决,得出交通拥挤控制方案。本文以交通控制方案通过信号灯控制实现为例,设计其模糊推理算法。

3.2.1 输入模糊量化

设 r 是控制系统的设定值(由交通拥挤控制目

标决定), $r_i(k)$ 是由检测器检测到的交通信息实时计算得出的 V/C 值 输入偏差 e_i 和偏差变化 Δe_i 的计算公式分别为

$$e_i = r - r_i(k), \quad (4)$$

$$\Delta e_i = e_{i-1} - e_i \quad (5)$$

将输入偏差 e_i 和偏差变化 Δe_i 分别进行离散化和模糊量化

1) 输入偏差 e_i

量化论域

$$E = \{-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3\}$$

词集

PL, PM, PS, ZE, NS, NM, NL.

各词集的隶属度

$$PL = 0.5/2 + 1.0/3,$$

$$PM = 0.5/1 + 1.0/2 + 0.5/3,$$

$$PS = 1.0/1 + 0.5/2,$$

$$ZE = 0.5/-1 + 1.0/0 + 0.5/1,$$

$$NS = 0.5/-2 + 1.0/-1,$$

$$NM = 0.5/-3 + 1.0/-2 + 0.5/-1,$$

$$NL = 1.0/-3 + 0.5/-2$$

2) 输入偏差变化 Δe_i

量化论域

$$E = \{-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3\}$$

词集

PL, PM, PS, ZE, NS, NM, NL.

各词集的隶属度

$$PL = 0.5/2 + 1.0/3,$$

$$PM = 0.5/1 + 1.0/2 + 0.5/3,$$

$$PS = 1.0/1 + 0.5/2,$$

$$ZE = 0.5/-1 + 1.0/0 + 0.5/1,$$

$$NS = 0.5/-2 + 1.0/-1,$$

$$NM = 0.5/-3 + 1.0/-2 + 0.5/-1,$$

$$NL = 1.0/-3 + 0.5/-2$$

式中: PL 为正大, PM 为正中, PS 为正小, ZE 为零, NS 为负小, NM 为负中, NL 为负大

设定控制系统的输出量, 即交叉口绿灯时间的修正值为 Δg , 考虑车辆的车头时距 以小轿车的平均车头时距 2.5 s 为一个 Δg 调整的基本单位, 设在一个信号周期内, Δg 的量化层次取 9, 即论域 $\Delta G = \{-4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4\}$, 其语言值为: PL (正大), PS (正小), ZE (零), NS (负小), NL (负大). 各语言值的隶属函数定义如表 1 所示

3.2.2 模糊规则推理及逆模糊化

根据 e 值和专家的经验进行模糊推理: 如果 e 为 PL, ΔE 为 ZE, 则 Δg 为 PL, 此时路段为自由流, 进口

表 1 F (ΔG) 的隶属函数值

	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
PL							0.5	1.0	
PS						0.5	1.0	0.5	
ZE				0.5	1.0	0.5			
NS		0.5	1.0	0.5					
NL	1.0	0.5							

绿灯时间可适当延长, 增加路段的服务交通量; 如果 e 为 NL, ΔE 为 ZE, 则 Δg 为 NL, 此时路段为交通堵塞, 进口绿灯时间可适当缩短, 同时提供诱导信息, 诱导车辆驶向其他路段等, 共 49 条规则 输出量 Δg 的逆模糊化运算, 采用加权平均判决方法得出 为简便起见, Δg 的精确值直接由表 2 给出, 表中数值表示 Δg 的调整单位数

表 2 Δg 的模糊控制规则表

ΔE	e						
	PL	PM	PS	ZE	NS	NM	NL
PL	-1	1	-3	-4	-4	-4	-4
PM	2	2	-2	-3	-4	-4	-4
PS	3	0	1	-2	-3	-4	-4
ZE	4	1	0	0	-2	-3	-4
NS	3	2	1	0	-1	-2	-3
NM	3	3	2	1	0	-1	-2
NL	4	4	3	2	1	0	-1

4 高架路实时决策支持模型设计

4.1 高架路主线的交通流状态确定

上海市延安高架路东起中山东一路, 西至虹桥机场, 全长 15.82 km, 是中心区与机场间交通的重要通道 延安高架路江苏路段是单向三车道, 设计的单车道通行能力是 1500 pcu/h.

图 2 是检测器检测到的 15:00 ~ 16:11:40 由西向东的江苏路段的交通流量变化情况 采集数据的时间间隔为 20 s, 共采集了 186 组数据 研究将数据处理为 5 min 一组数据, 共 12 组数据, 其 V/C 的变化情况见表 3

从表 3 可以看出, 有 9 组 V/C 值大于 0.8, 其中有 5 组 V/C 值大于 1, 说明在 15:00 ~ 16:00 这一

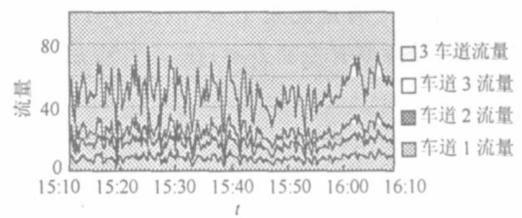


图 2 研究路段的流量变化

表3 v/c 的变化情况

时间	15 10	15 15	15 20	15 25	15 30	15 35
v/c	0.96	1.04	1.03	1.10	0.96	0.70
时间	15 40	15 45	15 50	15 55	16 00	16 05
v/c	0.76	0.80	0.89	0.90	1.11	1.20

个小时内,江苏路段由西向东的交通非常拥挤,需要采取一定的手段控制进入延安高架路的交通流量。通常情况下,可采用人为关闭匝道的办法,但是交警人力有限,而且在其他时段高架路主线交通正常,因此需要设计能随主线交通量变化而变化的匝道交通控制方案。

4.2 匝道交通流量控制方案

在江苏路段南上匝道口设计信号灯,控制进入主线的交通流量。信号灯的绿灯时长调节根据本文设计的模糊控制算法计算得出。

设高架路江苏路段的交通拥挤控制目标为维持期望的服务水平,系统控制的标准值为 $r = 0.8$ 。根据表3提供的数据,计算各个周期 v/c 值的输入偏差 e_i 和偏差变化 Δe_i ,并计算其对应的隶属度;再根据模糊规则推理和表1的 $F(\Delta g)$ 隶属函数值进行模糊决策;最后利用表2的模糊控制表对匝道进口的绿灯时间进行调整,调整的绿灯时长随主线交通量变化情况如图3所示。

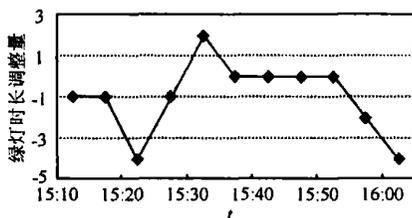


图3 调整的绿灯时长随主线交通量变化情况

图3表示在15:00~16:00这一个小时内,匝道口信号灯根据高架路江苏路段主线交通量情况和控制目标,调整的绿灯时长变化情况。决策支持模型通过对信号灯绿灯时长的调节,实现对进入交通主线的匝道交通量控制。其控制过程如下:在15:10后,缩短绿灯时长,控制进入交通量;在15:35左右,主线交通量减少,没有超过期望的服务水平,故延长绿灯时间,增加进入主线交通量;在15:40~15:55期间,交通量比较正常,故信号灯绿灯时长无须调整,保持原有控制方案;在15:55后,主线交

通又出现交通拥挤,故需缩短绿灯时长,控制进入主线交通量。

5 结 论

本文针对交通拥挤的快速检测和控制问题,设计了一种实时决策支持模型,它能较好地反映管理者的拥挤管理行为,不仅提高了管理者的拥挤反映能力,而且提高了决策质量。

实时决策支持系统主要根据在道路发生突发性交通拥挤情况下,管理者对拥挤网络交通的控制行为设计。系统设计的目的是通过集成交通拥挤检测算法、模糊推理算法和交通拥挤管理者的知识,提供在设定的管理目标下,快速缓解交通拥挤的控制方案,供决策者参考。该系统将在交通拥挤控制中发挥一定的作用。

参考文献 (References)

- [1] Filippo Logi, Stephen G Ritchie. Development and Evaluation of a Knowledge-based System for Traffic Congestion Management and Control [J]. *Transportation Research: Part C*, 2001, 9 (6): 433-459.
- [2] Dusan Teodorovic. Fuzzy Logic Systems for Transportation Engineering: The State of the Art [J]. *Transportation Research: Part A*, 1999, 33 (5): 337-364.
- [3] Dusan Teodorovic, Katarina Vukadinovic. *Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach* [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998: 38-70.
- [4] Jarkko Niittymkia, Esko Turunen. Traffic Signal Control on Similarity Logic Reasoning [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2003, 133 (1): 109-131.
- [5] Iisakki Kosonen. Multi-agent Fuzzy Signal Control Based on Real-time Simulation [J]. *Transportation Research: Part C*, 2003, 11 (5): 389-403.
- [6] Sazi Murat Y, Ergun Gedizlioglu. A Fuzzy Logic Multi-phased Signal Control Model for Isolated Junctions [J]. *Transportation Research: Part C*, 2005, 13 (1): 19-36.
- [7] 刘伟铭. *高速公路系统控制方法* [M]. 北京: 人民交通出版社, 1998: 24-30.
(Liu W M. *Control Methods of System for Expressway* [M]. Beijing: China Communications Press, 1998: 24-30.)