

基于 D-S 证据理论的区域交通自适应协调控制

李水友, 刘智勇

(五邑大学 信息学院, 广东 江门 529020)

摘要: 针对城市区域交通控制问题, 提出了一种基于 D-S 证据理论的实时协调控制方法. 在交通调查基础上, 依据交通量将区域交通状况分为若干类; 采用交通分析软件对每一类的典型交通量数据进行仿真分析, 从而获得最优配时方案; 系统运行时检测交通量, 并采用基于 D-S 证据理论的模式匹配方法, 判断当前交通状况属于哪一模式, 于是系统将运行相应的配时方案; 与此同时, 根据检测的交通量数据, 定期更新系统存储的交通模式及其对应的最优配时方案. 仿真结果表明本文提出的新方法是可行而有效的.

关键词: 城市交通控制; 自适应控制; D-S 证据理论

中图分类号: U491.5; TP273.2 **文献标识码:** A

D-S evidence theory based adaptive control method for urban traffic network signal

LI Shui-you, LIU Zhi-yong

(School of Information, Wuyi University, Jiangmen Guangdong 529020, China)

Abstract: Dempster-Shafer(D-S) evidence theory based adaptive control method for urban local traffic is proposed. On the basis of traffic investigation urban local traffic conditions are classified into several patterns according to the traffic volume; By using the traffic analysis tool to simulate and analyze every representative traffic volume datum, the best timing plans can be got. When the system runs, it will detect the traffic volume on-line and judge which pattern the current traffic volume condition belongs to by using D-S evidence theory based pattern match method, then runs the corresponding best signal timing plan. At the same time, on the basis of the detected traffic volume, the traffic patterns and their corresponding best signal timing plans will be updated at a fixed period. Simulation results show that the proposed method is feasible and efficacious.

Key words: urban traffic signal control; adaptive control; D-S evidence theory

1 引言(Introduction)

在城市区域交通协调控制的实践中, 相位差的调整通常不是一次完成的, 而是通过执行若干个临时周期来完成, 执行完临时周期后再恢复原周期. 由此可见, 相位差的调整往往需要几个周期, 一旦调整完成, 还需要稳定几个周期. 因此, 相位差的调整不能过于频繁, 否则将得不偿失. 根据这种情况, 本文提出一种基于 D-S 证据理论的控制方法, 其基本思路是: 首先根据区域交通道路网络的实际情况进行交通调查和分析, 依据交通量将区域交通状况分为若干类; 采用交通分析软件如: TRANSYT 或 CORSIM 等对每一类的典型交通量数据进行仿真分析, 从而获得最优配时方案. 区域的每一种交通模式就对应着一种最优配时方案. 这些模式和对应方案被

存贮到控制系统中, 系统运行时实时检测交通量, 判断当前交通状况属于哪一模式, 于是系统将运行相应的配时方案. 根据实时检测的交通量, 在交通工程师的干预下定期更新系统存储的交通模式及其对应的最优配时方案.

2 D-S 证据理论(D-S evidence theory)

D-S 证据理论是概率论的一种推广形式, 它需要比概率论弱的公理系统, 不但可处理由知识的不准确引起的不确定性, 也可以解决由于不知道引起的不确定性. 证据理论的一个基本策略是将证据集合划分成两个或多个不相关部分, 并利用它们对辨识框架独立进行判断, 然后用组合规则将它们融合起来, 得到最终判决结果, 其核心在于从一个多值映射推导出的概率区间概念, 即从证据空间 S 到辨识

空间 Θ 的多值映射将 S 中的每一个元素 s 和辨识空间 Θ 的任一子集联系起来,有 $m:2^\Theta \rightarrow [0,1]$, m 称为基本概率分配函数. 在获得基本概率分配函数 m 的基础上,计算出对某一假设的信任区间. D-S 证据理论解决问题的关键是:如何恰当地将每一证据源与辨识空间的每一子集相联系,即每一证据源到辨识空间的基本概率分配函数. 采用 D-S 证据理论解决实际问题的步骤参见文献[1].

3 基于 D-S 证据理论的区域交通自适应协调控制方法 (D-S evidence theory based adaptive control method for urban local traffic)

在许多待解决的实际问题中,存在许多不确定性信息,这种不确定性信息的有效处理是解决模式识别的一大关键. 由于传统模式识别算法中,对于不确定性信息没有进行系统的研究,因而识别效果有局限性. 这些年来, D-S 证据理论在很多领域得到了很好的应用:如近似推理、规划识别等,但在模式识别领域中应用的历史还尚为短暂,其技术和方法还远未成熟. 基于 D-S 证据理论的模式识别算法,是一种基于近似推理的算法,相比于其他模式识别算法,它更为系统地考虑了识别对象中的不确定性信息及其相关的处理方法,算法简单有效,可以更好地利用人们的经验知识进行模式识别[2].

区域交通的信号控制系统具有较强的非线性、随机性、模糊性和不确定性. 各交通模式的边界是模糊的,用于检测交通量的检测器的重要性、可靠性不完全相同,部分检测器可能出现故障而使其得到数据不可靠. 在交通控制中,不希望因少数次要的检测器出现故障就降级运行,而往往会给其估计一个合适的值再进行控制参数的优化,且交通量也随时在发生变化,这样就存在检测数据的不确定性. 交通模式数量是有限的,可能并不适合一切情况,且交通模式也在不断发生变化,于是就存在知识表示的不确定性.

基于 D-S 证据理论的城市区域交通协调控制方法分为三个过程:分类及配时方案设计过程、模式匹配过程和配时方案实施过程.

1) 分类及配时方案设计过程. 由于城市区域交通的几何尺寸和交通状况是千变万化的,因此这一过程需要进行工程设计. 其步骤如下:

Step 1 对要进行协调控制的区域交通网络进行交通调查;

Step 2 对所获得的交通量数据进行分类,从而

建立交通模式;

Step 3 采用交通分析软件,对各交通模式进行仿真分析,获得最优配时方案;

具体来说,为减少计算量, Step 2 按以下步骤进行:

Step 2.1 根据各路口的总交通量及协调相位各支交通流的交通量进行分类,获得一系列粗糙的交通模式;

Step 2.2 对 Step 2.1 得到的交通模式,根据各转向交通量进行细分,获得较为精细的交通模式;

2) 模式匹配过程. 由于在实时区域协调控制中,周期、相位差不宜变化太大,故只对最优方案的周期、相位差在当前控制方案周期、相位差的某一领域内的交通模式进行匹配. 现有的交通模式不一定是最优的,不一定能覆盖全部交通状况,而某些交通模式可能很少出现;区域路网的交通状况也可能发生变化,从而出现新的交通模式,因此有必要在算法运行过程中进行交通模式的动态更新. 下面给出模式匹配过程的算法:

Step 1 令计数器 $T_i = 0 (i = 1, 2, 3, \dots, l+1)$, 这些计数器用来记录相应模式被选中的次数;

Step 2 采集交通量数据;

Step 3 对实时交通量数据进行模式匹配;

Step 4 判断是否到了模式更新时间,若是则在交通工程师的干预下,进行模式更新:在规定的时间内,若某模式被选中次数小于阈值,则舍弃;若不确定模式被选中次数达到阈值,则分析决定是否增加新模式;令 $l =$ 当前模式数;把各计数器清 0;

Step 5 返回 Step 2;

算法的关键是对实时交通量数据进行模式匹配,由于每个模式的交通量由各路口的各支交通流流量组成,涉及多个传感器的检测数据,并且各传感器检测数据的可靠性和重要性也不完全相同,故需要对各传感器的检测数据进行信息融合. D-S 证据理论[3]可对多源传感器检测数据进行融合处理,从而可以获得准确的区域交通模式信息. 因而本文采用基于 D-S 证据理论的模式识别方法对实时交通量进行模式匹配. 而在基于 D-S 证据理论的模式识别中,关键在于证据的提取与积累. 其基本思想是把每一模式当作一条假设命题,识别过程对应于从样本数据及环境中提取假设命题成立的证据,并对所获得的证据进行积累. 最后依据置信度最大或不确定性最小的原则,确定被识别数据样本对象的类别属

性^[2].

交通模式的辨识框架为

$\Theta =$

{交通模式 1, 交通模式 2, ..., 交通模式 l , 不确定}

其中, l 为交通模式数. 则其单子集合有

$S_i (i = 1, 2, \dots, l) = \{\text{交通模式 } i\},$

$S_{l+1} = \{\text{不确定}\}.$

若样本交通量和某个交通模式的典型交通量相似程度高, 则可认为样本属于该交通模式的可信度大, 因此不妨构造基于相似度的基本概率分配函数. 设区域有 N 个十字路口(丁字路口的相应转向车流设为 0, 当作十字路口处理), 路口的东直行、东左转、南直行、南左转、西直行、西左转、北直行、北左转车流分别编号为 1~8, 右转车流不予控制. 下面给出基于 D-S 证据理论的对实时交通量数据进行模式匹配的算法, 即 Step 3 的详细步骤:

Step 3.1 对满足

$|C_k - C_0| \leq T, |t_{oski} - t_{oso}| \leq T (i = 2, 3, \dots, N)$

的交通模式, 按(1)式计算路口各支交通流流量与标准模式相应交通流流量的相似度

$$R_{ijk} = \frac{q_{ij}Q_{ijk}}{q_{ij}^2 + Q_{ijk}^2 - q_{ij}Q_{ijk}}. \quad (1)$$

其中, i 是路口编号, j 是交通流编号, k 是交通模式编号, Q_{ijk} 为交通模式 k 中路口 i 交通流 j 的典型交通量, C_k, t_{oski} 分别为交通模式 k 对应方案的共用周期和路口 i 的绝对相位差, C_0, t_{oso} 分别为当前控制方案的共用周期和路口 i 的绝对相位差, T 为预定阈值.

Step 3.2 按下式计算路口各支交通流的基本概率分配函数

$$m_{ij}(S_k) = \frac{R_{ijk}}{\sum_k R_{ijk}}, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (2)$$

Step 3.3 由证据源的重要性及可靠性, 选定折扣系数 α_{ij} , 按(3)式对其基本概率分配函数打折扣.

$$m_{ij}^a(S_k) = \begin{cases} (1 - \alpha_{ij}) m_{ij}(S_k), & 1 \leq k \leq l \\ \alpha_{ij}, & k = l + 1 \end{cases} \quad (3)$$

Step 3.4 令 $i = 1, j = 2, m(S_k) = m_{11}^a(S_k), k = 1, 2, \dots, l + 1$

Step 3.5 按冲突修正融合规则(4), 将路口各支交通流的基本概率分配函数进行融合, 得到系统实时交通流的基本概率分配函数

$$m(S_k) =$$

$$\begin{cases} K \{ m_{ij}^a(S_k) m(S_k) + m_{ij}^a(S_k) m(S_{l+1}) + \\ m_{ij}^a(S_{l+1}) m(S_k) \}, & 1 \leq k \leq l, \\ Km_{ij}^a(S_{l+1}) m(S_{l+1}), & k = l + 1. \end{cases} \quad (4)$$

其中

$$K = \{1 - \sum_{t \neq u, 1 \leq t, u \leq l} m_{ij}^a(S_t) m(S_u)\}^{-1}. \quad (5)$$

Step 3.6 $j = j + 1$; 如果 $j < 9$, 则转 Step 3.5, 否则 $j = 1$.

Step 3.7 $i = i + 1$; 如果 $i < N$, 则转 Step 3.5.

Step 3.8 依据置信度最大原则确定最匹配交通模式: 若 $m(S_k) = \max\{m(S_i) | 0 < i < l + 2\}$, 则交通模式 k 为最匹配交通模式, 并且使相应计数器加 1;

Step 3.9 若 $k > l$, 即不能确定与那类模式最匹配, 则对剩余的交通模式按 Step 3.1 ~ Step 3.8 进行匹配, 若结果仍是不确定, 则保存该周期的交通量.

3) 配时方案实施过程. 根据模式匹配结果选择并实施配时方案: 若连续 5 个周期中, 有 4 个与某一模式匹配, 则选择该模式对应的方案为下一周期执行的方案.

4 仿真及结论 (Simulation and conclusions)

美国联邦公路局资助开发的 CORSIM 是一个优秀的微观仿真模型. 本文以 CORSIM 为平台, 对基于 D-S 证据理论的区域交通协调控制算法在一个四路口区域交通网络上进行了仿真: 如图 1 所示, 东西向为主干线方向, 南北向为次干线方向; 各路段均是两车道; 各路口均采用四相位控制, 且饱和流量均取为 $s = 1800 \text{ veh/h}$, 最大排队长度为 50 veh. 仿真持续时间为 600 s, 黄灯、全红时间分别为 3 s, 2 s, 车辆平均起动时间为 2 s, 且不考虑行人和公交车辆的影响. 仿真结果如表 1 所示.

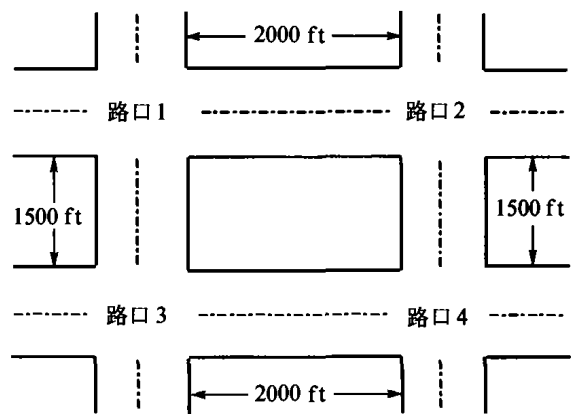


图 1 简单的 4 路口区域网络示意图

Fig. 1 Simple four-intersection traffic network sketch map

表1 新方法与时控制方法比较
Table 1 Comparison between new algorithm and timing control algorithm

交通量 veh/h	延误时间/(s·veh ⁻¹)		停车次数/%	
	新方法	定时控制	定时控制	新方法
8000	51.5	59.6	105	115
9000	78.8	85.8	119	128
10000	106	120	131	143
11000	130	156	147	159
12000	170	197	162	173
13000	220	240	175	187
14000	260	284	185	193
15000	315	326	190	194
16000	360	376	193	198

仿真结果表明:新方法具有较好的控制效果.

参考文献(References):

- [1] 刘智勇.智能交通控制理论及其应用[M].北京:科学出版社,2003.
(LIU Zhiyong. *Intelligent Traffic Theory and Its Application* [M]. Beijing: Science Press, 2003.)
- [2] 杜文吉,谢维信.基于证据理论的模式识别算法[J].西安电子科技大学学报,1999,26(4):533-536.
(DU Wenji, XIE Weixin. A pattern recognition method based on the theory of evidence [J]. *Journal of XiDian University*, 1999, 26(4): 533-536.)

- [3] 刘同明,夏祖勋,解洪成.数据融合技术及其应用[M].北京:国防工业出版社,1998.
(LIU Tongming, XIA Zhuxun, XIE Hongcheng. *Data Fusion Techniques and Its Applications* [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1998.)
- [4] 乐寿长.道路交通控制[M].长沙:湖南科学技术出版社,1995.
(LE Shouchang. *Road Traffic Control* [M]. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 1995.)
- [5] VINCE P. Real-time remedy [J]. *Traffic Technology International*, 2001, 7(6): 61-63.
- [6] 朱福喜,汤怡群,傅建明.人工智能原理[M].武汉:武汉大学出版社,2002.
(ZHU Fuxi, TANG Yiqun, FU Jianming. *Artificial Intelligence Principle* [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2002.)
- [7] 任江涛,欧晓凌,张毅等.交通状态模式识别研究[J].公路交通科技,2003,20(2):63-67.
(REN Jiangtao, OU Xiaoling, ZHANG Yi, et al. Pattern recognition of traffic states [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2003, 20(2): 63-67.)
- [8] 刘智勇,李水友.基于信息融合技术的交通量检测方法[J].公路交通科技,2003,20(2):81-84.
(LIU Zhiyong, LI Shuiyou. Methods for the Traffic Volume Detection Based on Information Fusion Technique [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2003, 20(2): 81-84.)

作者简介:

李水友 (1978—),男,硕士,研究领域为智能控制,城市交通控制系统, E-mail: syli7884@163.com;

刘智勇 (1961—),男,博士,教授,研究领域为智能交通控制,模式识别与智能系统.

(上接第156页)

- [5] ZHOU X X, LIANG J. Nonlinear adaptive control of TCSC to improve the performance of power systems [J]. *IEE Proceedings-Generation Transmission Distribution*, 1999, 146(3): 301-305.
- [6] 尹建华,江道灼.可控串补的非线性控制对电力系统稳定性的影响研究[J].电工技术学报,1999,14(3):70-74.
(YIN Jianhua, JIANG Daozhuo. TCSC's nonlinear control influence on power system stability [J]. *Trans of China Electro Technical Society*, 1999, 14(3): 70-74.)
- [7] GAN D, QU Z, CAI H. Multimachine power system excitation control design via theories of feedback linearization control and nonlinear robust control [J]. *Int J of System Science*, 2000, 31(4): 519-527.
- [8] SHEN T L, MEI S W, LU Q, et al. Robust nonlinear control with L_2 disturbance attenuation for power system [C]// *Proc of the 38th Conf on Control and Decision*. Phoenix, USA: IEEE Press, 1999: 2491-2492.
- [9] TAN H L, CHANG J. Adaptive backstepping control of induction motor with uncertainties [C]// *Proc of American Control Conference*.

California, USA: IEEE Press, 1999: 1-5.

- [10] ALRIFAI M T, CHOW J H, TORREY D A. A backstepping nonlinear control approach to switched reluctance motors [C]// *Proc of the 37th Conf on Control and Decision*. Florida, USA: IEEE Press, 1998: 4653-4657.
- [11] KRSTIC M, KANELAKOPOULOS I, KOKOTOVIC P V. *Nonlinear and Adaptive Control Design* [M]. New York: Wiley, 1995.

作者简介:

李文磊 (1970—),男,副教授,2003年9月在东北大学获博士学位.研究兴趣为电力系统非线性控制, E-mail: liwenlei@etang.com;

张智焕 (1964—),男,副教授,浙江大学博士.目前主要从事过程建模与预测控制、智能控制和计算机集成控制等方面的研究;

井元伟 (1956—),男,教授,博士生导师.从事复杂控制系统的对称性、相似性、稳定性等的研究;

刘晓平 (1962—),男,教授,博士生导师.从事奇异系统、非线性鲁棒控制的研究.