

基于模糊控制算法的城市交通区域协调控制

胡亚琦¹, 胡翔宇², 朱强化¹, 李洪中¹

HU Yaqi¹, HU Xiangyu², ZHU Qianghua¹, LI Hongzhong¹

1.兰州交通大学 电子与信息工程学院, 兰州 730070

2.厦门大学 数学科学学院, 福建 厦门 361005

1.College of Electronic and Information Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China

2.School of Mathematical Sciences, Xiamen University, Xiamen, Fujiang 361005, China

HU Yaqi, HU Xiangyu, ZHU Qianghua, et al. Regional coordination control for optimization of urban traffic. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(7):266-270.

Abstract: In view of the present research status of urban traffic zone control in our country, by using the group decision theory and fuzzy control theory, to the whole city area, the secondary fuzzy control model is established. The adjacent intersections traffic information and predict remaining time period are used as the input of the fuzzy controller, the secondary fuzzy controller's outputs control the green light phase of the next moment, to adjust the control zone between upstream and downstream adjacent intersection traffic flow and distribution. Finally the macro regional coordination's control can be realized.

Key words: regional coordination control; group decision-making; degree of coupling; fuzzy control

摘要: 针对目前我国城市交通区域控制的研究现状,应用群决策理论和模糊控制理论,对整个城市区域交通建立协调二级模糊控制模型。以相邻交叉口之间的车流量信息和预测剩余时间周期为模糊控制器输入,由二级模糊控制器的输出控制下一时刻的绿灯相位,从而调整控制子区内相邻交叉口上下游之间的交通流和集散程度,最终实现对控制子区的宏观区域协调控制。

关键词: 区域协调控制; 群决策; 耦合度; 模糊控制

文献标志码: A **中图分类号:** TP273 **doi:** 10.3778/j.issn.1002-8331.1305-0125

1 引言

目前,我国城市交通区域协调控制还主要停留在理论研究阶段,具有代表性的有:首艳芳等采用群决策算法给出区域协调控制模型^[1-2],但是对于模型中使用到的具体单个交叉口实时配时信息来源问题没有解决;刘志勇等采用改进的遗传算法对区域中交叉口延误、周期、绿信比等参数进行优化,取得一定效果^[3-5],但是没给出具体协调控制模型,且遗传算法复杂度很高;Choy等人采用ORL(Online Reinforcement Learning)方法,而收敛时间却过长^[6-7]。

由于以上问题的存在,寻求一种高效优越的控制方法势在必行。针对我国的交通控制以及基础设施现状,本文结合群决策理论与模糊控制理论,针对整个城市区

域交通建立协调二级模糊控制模型,并且对单个交叉口进行了独立控制,给出实时配时信息,从宏观和微观上实现较好的控制效果,提高了整个城市范围的交通系统运行效率。

2 控制子区域划分

2.1 控制子区的划分方法

2.1.1 子区划分的常用方法

控制子区的划分最常用的方法有两种:静态划分方法和动态划分方法,如图1所示。前者的子区划分方法已预先规定,控制过程中系统不能自动调整子区范围。后者的子区划分具有实时性,某段时间结合在一起的多个交叉口组成的子区,下段时间可能分解成若干部分,

作者简介: 胡亚琦(1963—),男,教授,主要研究领域为自动化控制;胡翔宇(1991—),男,主要研究领域为建模和算法;朱强化(1987—),女,在读硕士,主要研究领域为自动化控制;李洪中,硕士研究生。E-mail: zhuqhlzjdbd@126.com

收稿日期: 2013-05-28 **修回日期:** 2013-08-09 **文章编号:** 1002-8331(2015)07-0266-05

CNKI网络优先出版: 2013-09-04, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20130904.1344.011.html>

各部分可独自拥有新的控制方案, 也可与其他部分或子区重新结合组成新的控制子区。

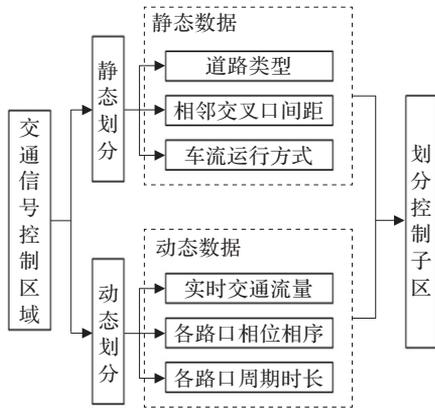


图1 控制子区划分方法

单独采取静态划分, 不能反映路况的实时交通流信息情况; 而单独采取动态划分时, 对于诸如相邻交叉口间距等静态因素造成上下游车流难以确定。本文采用动静结合的方法, 实现对控制子区的划分。

2.1.2 影响子区划分因素

根据图1划分方法, 将动静态影响因素结合起来, 可以得到相邻交叉口之间的关联程度是影响控制子区划分的主要因素, 而相邻交叉口之间的关联程度由相邻交叉口间距、此交叉口的交通流量, 以及相邻交叉口信号周期时长之比决定, 如图2所示^[1]。其中交叉口间距 L 属于静态因素, 对子区的划分影响固定不变; l_1 为耦合距离, 表示当交叉口间距小于该值时, 两交叉口无条件合并; l_2 为离散距离, 表示当交叉口间距大于该值时, 两交叉口无条件分离; 交通流量 q 和信号参数配时属于时变的动态因素, 对交通控制子区的划分的影响也实时变化。

2.2 耦合度

2.2.1 群决策原理

群决策理论充分汇集群体的智慧结晶, 由集体共同参与决策分析并制定决策方案。其中, 参与决策的集体组成了决策群体^[8]。群决策即是以决策群体作为决策的主体, 在待决策问题进行全面综合分析的基础上, 根据

各种规则、标准, 运用各种技术手段, 对决策问题做出最优或较为满意的抉择^[9]。将影响群体决策的各影响因子集结, 表现出群体之间的相关性。

本文利用群决策理论, 将影响控制子区划分的各影响因子集结, 组成一个决策群体, 在对决策群体全面分析的基础上, 得出群体之间的耦合性, 再对其进行量化处理, 得到控制子区内各交叉口之间耦合度。

2.2.2 计算耦合度

将影响子区划分的各因素集合, 得到影响各交叉口之间相关度的因素有: 任意两相邻交叉口间距 L , 交叉路口之间的交通流量 q , 车辆排队长度 Q 和信号周期 C 。对 i 交叉口的各指标值集结起来组成的矢量为 i 交叉口的偏好矢量^[1], 大小为 $V_i = (L_i, q_i, Q_i, C_i)$ 。在 i 交叉口与 j 交叉口之间, L 越大, V^i 越小, 交叉口之间相关程度越小, 越不易将两路口划分到同一个控制子区; q 越大, Q 越长, C 越接近, V^i 越大, 交叉口之间的相关程度越大, 越容易将两路口划分到同一个控制子区。公式(1)给出了两交叉口 I_i, I_j 之间的耦合度 $O_{i,j}(V^i, V^j)$ 的计算方法。

$$O_{i,j}(V^i, V^j) = \frac{(|V^i - \bar{V}^i|) \cdot (|V^j - \bar{V}^j|)^T}{\|V^i - \bar{V}^i\|_p \cdot \|V^j - \bar{V}^j\|_q} \quad (1)$$

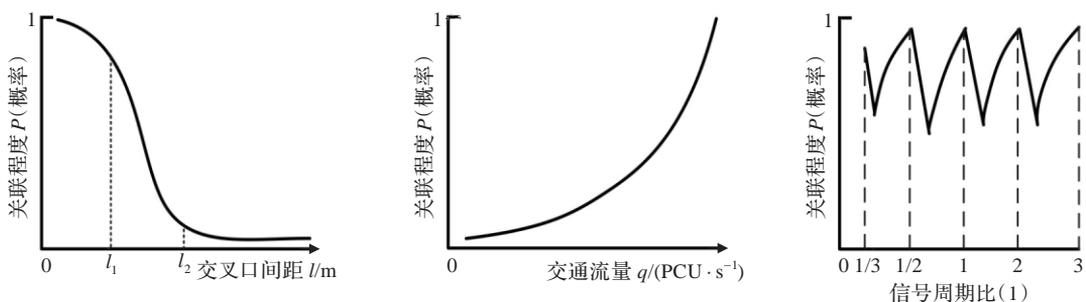
其中, $\bar{V}^i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^i$, $\bar{V}^j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^j$; $1 < p < +\infty$, $1 < q < +\infty$ 且 $1/p + 1/q = 1$; $\|\cdot\|_p$ 代表矢量的 P 范数。

2.3 控制子区划分步骤

针对整个城市区域, 考虑到城市路网的结构及交通流特性, 根据交叉口之间的相关性, 提出耦合性概念, 并对其量化, 通过耦合度将城市区域划分为若干个控制子区, 对控制子区进行划分的步骤如下。

(1) 判断所要划分的路口是否是关键交叉口与战略交叉口, 如果是, 将该路口单独划分; 否则, 根据相邻交叉口间距进行划分。

(2) 当相邻交叉口间距大于分离距离, 则将它们无条件划分开进行分别控制; 否则, 当相邻交叉口间距小于耦合距离, 则将它们无条件划分在一起进行协调控



(a) 关联程度与交叉口间距的关系 (b) 关联程度与交通流量的关系 (c) 关联程度与信号周期比的关系

图2 各影响因素与子区划分的关联程度

制。如果相邻交叉口间距在耦合距离与分离距离之间, 根据耦合度进行划分。

(3) 如果两个路口的耦合度大于设定的阈值, 则将其划分在一起进行协调控制; 否则划分到不同子区进行分别控制。

3 区域协调模糊控制

城市路网控制子区划分完成后, 可以对其内的各交叉口进行协调控制, 本文结合模糊控制理论, 设计出二阶模糊控制器, 来控制子区内的各交叉口的交通灯, 最终实现协调控制的目的。

3.1 模糊控制算法设计方案的实现

3.1.1 传感器的设置

模糊控制器车辆检测器设置如图3所示。现场实施交通控制时, 各交叉口每个路段上分别设置两组车辆检测器来检测交通流量信息, 由安放在近端的摄像头传感器来采集绿灯期间的交通流量信息, 由安放在远端的环形线圈车辆检测器采集红灯期间进入停车线滞留车辆的交通流量信息。

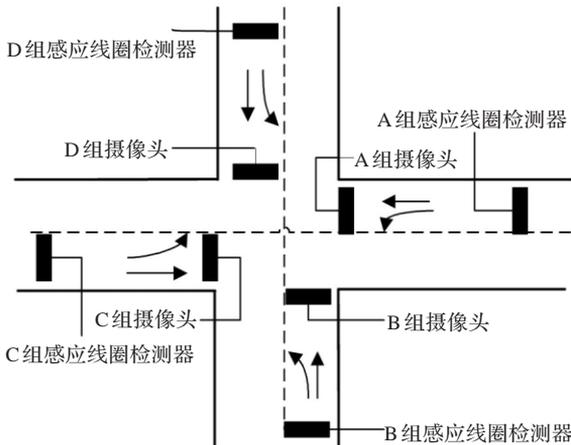


图3 单交叉口模糊控制器车辆传感器摆放

3.1.2 区域协调模糊控制器的设计

区域协调模糊控制器的设计如图4所示。该系统由二级模糊控制器组成, 模糊控制器I的输入变量由两个辅助变量 $I_{i1}(t)$ 和 $I_{i2}(t)$ 组成, 输出变量为时间 T_{i1} , 并且 $I_{i1}(t)$ 作为模糊控制器II的一个输入变量; 另外预测信

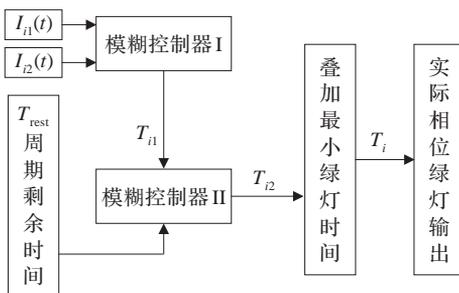


图4 区域协调模糊控制器原理图

号周期剩余时间 T_{rest} 作为II的另外一个输入变量, 最终输出时间 T_{i2} , 即为实时绿灯延长时间, 然后跟预设的最小绿灯时间进行叠加, 最终得到实际的绿灯输出时间, 实现实时控制区域内的交通流畅通无阻。

输入变量 $I_{i1}(t)$ 和 $I_{i2}(t)$ 由公式(2)、(3)计算得到:

$$I_{i1}(t) = X_{i_{max}} - Y_{i_{max}} \quad (2)$$

其中, X 为区域内各自然交叉口当前时刻绿灯相位上、下游车辆检测器之间的车辆数之和, $X_{i_{max}}$ 为 X 的最大值; Y 为区域内各自然交叉口当前时刻红灯相位上、下游车辆检测器之间的车辆数之和, $Y_{i_{max}}$ 为 Y 的最大值。

当 X 越大, 绿灯相位上下游之间车辆越多, 其绿灯时间越长; 当 Y 越小, 红灯相位上下游之间的车辆数越少, 绿灯时间也越长。输入变量 $I_{i1}(t)$ 反应车辆在各个交叉口是否能够较多通过车辆的特征。

$$I_{i2}(t) = \max\{q_{(i+1)i}(t) - q_{i(i+1)}(t), q_{(i-1)i}(t) - q_{i(i-1)}(t)\} \quad (3)$$

其中, $q_{(i+1)i}(t)$ 、 $q_{i(i+1)}(t)$ 分别表示 t 时刻交叉口 $i+1$ 到交叉口 i 方向和交叉口 i 到交叉口 $i+1$ 方向中间路段的车辆数; $q_{i(i-1)}(t)$ 和 $q_{(i-1)i}(t)$ 表示 t 时刻区域内相邻交叉口 i 到 $i-1$ 方向中间路段的车辆数和交叉口 $i-1$ 到交叉口 i 方向的车辆数。 $q_{(i+1)i}(t)$, $q_{i(i+1)}(t)$, $q_{i(i-1)}(t)$, $q_{(i-1)i}(t)$ 的计算如公式(4)所示:

$$\begin{aligned} I_{(i+1)i}^i(t) + I_{(i+1)i3}^i(t) + I_{(i+1)i9}^i(t) &= q_{(i+1)i}(t) = \\ & k_{21}O_{i1}^{(i+1)}(t) + k_{23}O_{i6}^{(i+1)}(t) + O_{i11}^{(i+1)}(t) \\ I_{i2}^{(i+1)}(t) + I_{i4}^{(i+1)}(t) + I_{i10}^{(i+1)}(t) &= q_{i(i+1)}(t) = \\ & k_{11}O_{(i+1)2}^i(t) + k_{13}O_{(i+1)5}^i(t) + O_{(i+1)12}^i(t) \\ I_{(i-1)i}^i(t) + I_{(i-1)i4}^i(t) + I_{(i-1)i10}^i(t) &= q_{(i-1)i}(t) = \\ & k_{11}O_{i2}^{(i-1)}(t) + k_{13}O_{i5}^{(i-1)}(t) + O_{i12}^{(i-1)}(t) \\ I_{i1}^{(i-1)}(t) + I_{i3}^{(i-1)}(t) + I_{i9}^{(i-1)}(t) &= q_{i(i-1)}(t) = \\ & k_{21}O_{(i-1)1}^i(t) + k_{23}O_{(i-1)6}^i(t) + O_{(i-1)11}^i(t) \end{aligned} \quad (4)$$

其中, $O_{(i+1)j}^i(t)$ 和 $O_{(i-1)j}^i(t)$ ($i=1, 2, \dots, N$) 为在 $t-\Delta t$ 时段内第 j 个车道由第 i 号交叉口驶出到相邻交叉口的车辆数; $I_{(i+1)j}^i(t)$ 和 $I_{(i-1)j}^i(t)$ ($j=1, 2, \dots, 12$) 为 t 内第 j 个车道区域内由相邻交叉口驶入第 i 号交叉口的车辆数。当东西直行方向为绿灯时, $k_{i1}=1$, 其他时刻, $k_{i1}=0$; 当南北左转方向为绿灯时, $k_{i3}=1$, 其他时刻 $k_{i3}=0$ 。

3.1.3 区域协调模糊控制基本步骤

首先, 对车辆检测器初始化, 进入检测状态, 再判断 $G_{min} + T_{i2}$ 与 G_{max} 的关系, 根据它们之间的关系决定各个交叉口绿灯显示相位; 其次, 并且根据各交叉口相位标志 $flag$ 的值判断各相位之间的切换; 最后, 根据每段时间内的交通流量数据信息情况, 计算出下一时段的信号周期时长。其具体流程图如图5所示。

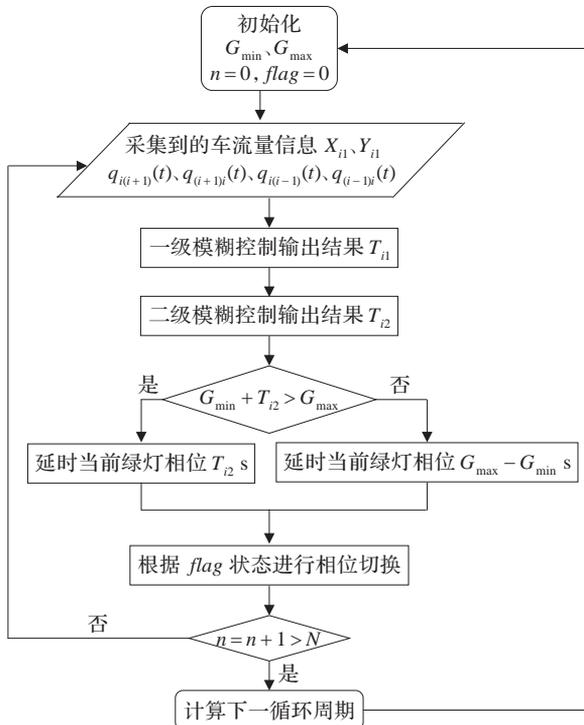


图5 区域协调模糊控制系统流程图

3.2 系统仿真

3.2.1 区域协调模糊控制器结构

一级模糊控制器的仿真图如图6所示。

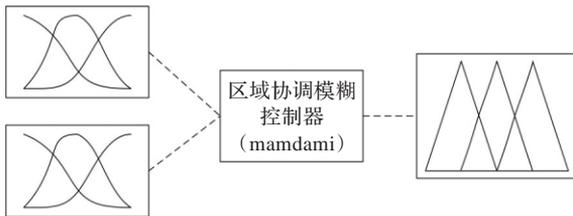


图6 一级模糊控制器系统结构

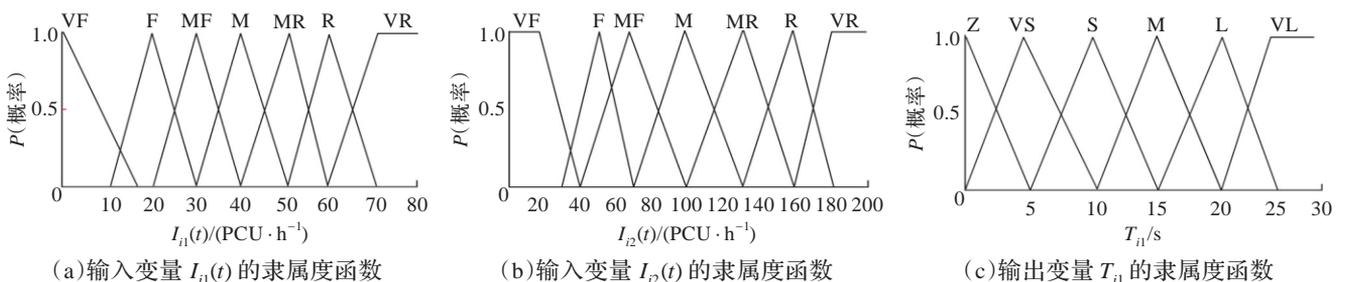


图7 一级模糊控制输入输出变量隶属度函数

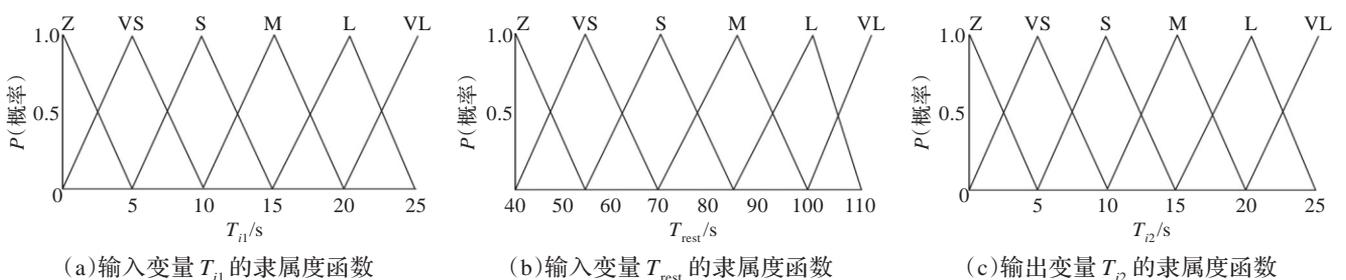


图8 二级模糊控制输入输出变量隶属度函数

二级模糊控制器的结构与一级模糊控制器大致相同,只是其中的输入输出控制变量不同,二级模糊控制器的输入变量为 T_{i1} 和 T_{rest} , 输出为 T_{i2} 。

3.2.2 输入变量隶属度函数设计

区域协调一级模糊控制系统输入变量 $I_{i1}(t)$ 、 $I_{i2}(t)$ 和的隶属度函数设计如图7所示。

二级模糊控制器的隶属度函数:

区域协调二级模糊控制系统输入变量 T_{i1} 、 T_{rest} 和输出变量 T_{i2} 的隶属度函数设计如图8所示。

3.2.3 模糊规则设计

本系统采取 mamdani 结构,其模糊规则为 if-then 形式。其中一级模糊控制规则的设计如公式(5)所示;二级模糊控制规则的设计结果如公式(6)所示。

- If ($I_{i1}(t)$ is VF) and ($I_{i2}(t)$ is VF) then (T_{i1} is Z)
- If ($I_{i1}(t)$ is VF) and ($I_{i2}(t)$ is F) then (T_{i1} is Z)
- If ($I_{i1}(t)$ is VF) and ($I_{i2}(t)$ is MF) then (T_{i1} is Z)
- ...
- If ($I_{i1}(t)$ is VR) and ($I_{i2}(t)$ is R) then (T_{i1} is VL)
- If ($I_{i1}(t)$ is VR) and ($I_{i2}(t)$ is VR) then (T_{i1} is VL)

- If (T_{i1} is Z) and (T_{rest} is Z) then (T_{i2} is Z)
- If (T_{i1} is Z) and (T_{rest} is VS) then (T_{i2} is Z)
- If (T_{i1} is Z) and (T_{rest} is S) then (T_{i2} is Z)
- ...
- If (T_{i1} is VL) and (T_{rest} is L) then (T_{i2} is L)
- If (T_{i1} is VL) and (T_{rest} is VL) then (T_{i2} is VL)

3.2.4 系统仿真结果

将输出 T_{i2} 所有结果进行汇总,得到最终的模糊控制输出查询表,如表1所示。

表1 模糊控制输出查询表

T_{rest}/s	T_{ii}/s					
	0	5	10	15	20	25
40	2	2	5	5	10	10
50	2	5	5	5	10	10
60	2	5	5	7	12	12
70	2	5	5	10	15	16
80	2	5	5	10	15	18
90	2	5	8	13	15	20
100	2	5	10	15	16	20
110	5	5	10	15	20	24

3.2.5 仿真结果分析

系统采用 MATLAB 进行仿真,控制子区内有 20 个自然交叉口,各交叉口形状为十字形,对于非拥挤(欠饱和)状态服从泊松分布,拥挤(饱和)状态服从二项分布,区域内关键交叉口饱和流量为 3 500 PCU/h,一般交叉口饱和流量为 2 500 PCU/h,车辆直行和左右转的交通流量比例为 5:3:2,各相位的最小绿灯时间 $G_{\min} = 15$ s,关键交叉口与一般交叉口相位最大绿灯时间 G_{\max} 按照 3:2 进行比例分配。

控制子区内分别按不同的交通流量情况各自进行仿真了 100 个信号周期,来观察各交叉口周期最终的平均车辆的排队长度(PCU/Cycle)。仿真结果对比如表 2 所示。

表2 区域协调模糊控制方式与其他控制方式比较

子区内交通 流量/(PCU·h ⁻¹)	周期平均车辆排队长度/(PCU·Cycle ⁻¹)		
	二级模糊 控制方式	感应控 制方式	定时控 制方式
1 080	0.78	3.24	5.78
1 800	18.83	41.64	100.86
2 880	29.62	62.75	164.82

仿真结果表明,采用两级模糊控制实现区域协调,可以有效提高区域内交通控制效果:轻度的交通流量(1 080 PCU/h)时,各种控制方式皆可使得交通流得到有效疏通;中度的交通流量(1 800 PCU/h)时,模糊协调控制方式和感应控制与定时控制方式相比,周期内平均车辆的排队长度分别相对减少约 51% 和 88%;近饱和和交通流量(2 880 PCU/h)时,模糊协调控制方式与感应控制与定时控制方式相比,周期内平均车辆的排队长度分别相对减少约 53% 和 82%,由此可见使用区域协调模糊控制策略时,整个系统的车辆滞留时间较少,控制子区内具有较高的交通流量通行能力。

4 结论

基于群决策思想,将整个城区划分为若干个子区,对每个子区建立控制模型,对整个城市区域范围进行协调控制,对于模型中需要的实时信息参数,来自对单个路口的模糊控制,实现了系统的实时优化控制。经仿真发现,系统具有良好的效果,使车辆延误时间变得更短,给通行带来了方便,同时节约了能源,保护了环境。

参考文献:

- [1] 首艳芳.基于群决策理论的交通区域协调控制理论与方法研究[D].广州:华南理工大学,2011.
- [2] Dotoli M, Fanti M P, Meloni C. Coordination and real time optimization of signal timing plans for urban traffic control[C]//Proc of the IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, Taipei, Taiwan, China, 2004.
- [3] 刘智勇,李水友.基于免疫遗传算法的区域交通自适应协调控制[J].控制理论与应用,2006,23(1):119-125.
- [4] 刘智勇.单交叉口的多相位模糊控制[J].信息与控制,1999,28(6):453-458.
- [5] Liu Zhiyong. A survey of intelligence methods in urban traffic signal control[J]. International Journal of Computer Science and Network Security, 2007, 7(7):105-112.
- [6] Choy M C, Cheu R L, Srinivasan D, et al. Real-time coordinated signal control using agents with online reinforcement learning[C]//Proceedings of TRB Annual Meeting, 2003.
- [7] Bazzan A L C, Oliveira D D, Silva B C D. Learning in groups of traffic signals[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2010, 23:560-568.
- [8] 杨雷.群体决策理论与应用—群体决策中的个体偏好集结方法研究[M].北京:经济科学出版社,2004.
- [9] 徐建闽,陈思溢.基于群决策理论和双层规划模型的交通信号控制优化[J].公路交通科技,2010,27(12):134-138.
- [10] Pappis C, Mamdani E. A fuzzy logic controller for a traffic junction[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1977, 7(10).
- [11] 田宇.基于模糊原理的城市交通信号灯控制方法的研究[J].北华航天工业学院学报,2010,20(3):21-23.
- [12] 邓宜阳.用 PLC 实现道路十字路口交通灯的模糊控制[J].成都大学学报:自然科学版,2001,20(2):17-21.
- [13] 官照新.基于模糊逻辑的智能交通控制算法的研究[J].科学技术与工程,2009,18(9):5603-5606.
- [14] 黄文杰.单个交叉口信号配时的模糊控制[J].交通科技,2009,7(S1):89-91.
- [15] Liu Zhen. Simulation of pedestrians in computer animation[C]//Proceedings of ICICIC Conference, 2006:229-232.