

基于层次支持向量机的区域战略 交通控制策略优化方法

王 媛, 杨兆升, 管 青, 杨 朝

(吉林大学 交通学院, 长春 130022)

摘 要:针对传统交通控制系统中控制策略无法动态响应交通状态变化的问题,提出了一些评价区域交通状态的指标,并基于这些指标提出了一种基于层次支持向量机的区域战略交通控制策略优化方法,设计了两种层次支持向量机优化结构。最后基于 VISSIM4.2 和 Matlab 7.01 平台,开展了一些模拟试验来验证所提出方法的性能。仿真结果表明,基于组合二叉树的层次支持向量机的优化方法能够更有效地、准确地响应于时变交通流。

关键词:交通运输系统工程;层次支持向量机;区域战略交通控制策略;优化;仿真

中图分类号:U491 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2009)01-0038-07

Regional traffic control strategy optimization method based on H-SVMs

WANG Yuan, YANG Zhao-sheng, GUAN Qing, YANG Chao

(College of Transportation, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Some indexes for evaluating the regional traffic condition were proposed. On the basis of there indexes a regional traffic control strategy optimization method based on the hierarchical support vector machine(H-SVM) was suggested and two optimized structures of H-SVM were designed. The simulations were performed on the platform of VISSIM 4.2 and Matlab 7.01 to test the proposed method. The results show that the optimization method based on the combined binary tree SVM could efficiently and accurately respond to the practical time-varying traffic flow.

Key words: engineering of communications and transportation system; hierarchical support vector machine(H-SVM); regional traffic control strategy; optimization; simulation

对于稳定交通流,传统的交通控制系统显现出很好的控制效果。但是,一旦交通状态发生变化,传统的交通控制系统往往不能很好地应付和响应于如此复杂的情况。因此,研究一种区域战略交通控制策略自动优化方法,使之能够适合于不断变化的交通状态,是非常必要的^[1-4]。针对此问题,Diakaki 开发了一种新的信号控制策略(响

应式城市交通控制),该策略能够在大范围城市网络下提供协调、交通响应式控制^[5]。夏百战等^[6]提出了基于 C-均值动态聚类的交通网络状态模式识别方法和相应的离线信号配时方案库,从而设计出了一种适合于中小城市应用的自适应区域信号协调控制系统。Ghassan 等^[7]开发了一种动态设计和评价过饱和交通状况的交通管理策略。

收稿日期:2008-02-25.

基金项目:“863”国家高技术研究发展计划项目(2007AA12Z242,2007AA11Z218,2007AA11Z245).

作者简介:王媛(1982-),女,博士研究生.研究方向:智能交通系统. E-mail:sophiawy2003@163.com

通信作者:杨兆升(1938-),男,教授,博士生导师.研究方向:智能交通系统理论与技术. E-mail:yangzs@jlu.edu.cn

该方法组合了动态控制算法和一种无效函数。在考虑排队长度和需求的情况下,采用动态算法设计了信号控制参数来管理排队的形成和消散。

确定不同状态下交通控制策略的关键在于如何确定区域的不同交通状态。层次 SVM 多类分类方法是一种采用二叉树结构来构造支持向量机多类分类器的方法,具有较高的分类效率。因此,作者基于该方法提出了区域战略交通控制策略优化方法。

1 区域战略交通控制策略及影响因素

为了提高交通控制系统的运行效率、稳定性和控制灵活性,一般采用分级递阶控制,将整个控制系统分为中心级、区域级和路口级。根据不同的交通控制状态,中心级为区域级提供战略控制策略,包括控制方式、控制目标等等。区域级则根据中心级提供的战略控制策略对各个路口的控制方案进行优化。

区域交通控制状态是制定战略交通控制策略的核心,直接影响着整个区域交通控制策略及方案的实施。根据文献[8],选取区域饱和度和区域平均车速作为区域交通控制状态的评价指标,从而设计不同的交通控制策略。根据各种交通控制策略适用情况和实际工程中的经验总结,交通控制策略的定性结果如下:①在小饱和度、车速高时,采用单点感应控制;②在中等饱和度、车速较高时,采用自适应协调控制/固定配时协调控制;③在高饱和度、车速较低、车流密度大时,采用固定配时协调控制/固定配时单点控制。

以上的结论只是定性、模糊的分析,很难用定量的方法指导实际工程应用。本文选取区域加权平均饱和度、区域平均行程速度作为描述区域交通控制状态的指标,即

$$SY_i(k) = f(SA_i(k), SP_i(k)) \quad (1)$$

式中: $SY_i(k)$ 为 k 时段第 i 个区域的交通控制策略; $SA_i(k)$ 为 k 时段第 i 个区域加权平均饱和度; $SP_i(k)$ 为 k 时段第 i 个区域的平均速度; $f(\cdot)$ 为控制策略与交通状态参数等的函数关系。

区域加权平均饱和度的计算公式为

$$SA_i(k) = \sum_{m=1}^M \frac{\sum_{j=1}^{N_m} sa_i^j(k)}{N_m} \cdot \tau\omega_m / \sum_{m=1}^M \tau\omega_m \quad (2)$$

$$SP_i(k) = \sum_{l=1}^L \frac{\sum_{j=1}^{N_l} sp_i^j(k)}{N_l} \cdot \tau\omega_l / \sum_{l=1}^L \tau\omega_l \quad (3)$$

式中: $sa_i^j(k)$ 为第 i 区域第 k 时段第 j 个交叉路口的饱和度; $\tau\omega_m$ 为第 m 类交叉路口的权重,具体权重如表 1 所示; M 为交叉口类别的总个数; N_m 为第 m 类交叉路口的总个数; $sp_i^j(k)$ 为第 i 区域第 k 时段第 j 个路段的速度; $\tau\omega_l$ 为第 l 类路段的权重,权重如表 1 所示; L 为路段类别的总个数; N_l 为第 l 类路段的总个数。

表 1 w_m 和 w_l 权重设置

Table 1 Weight of w_m and w_l

等 级	$\tau\omega_m$	$\tau\omega_l$
$m=l=1$	0.8	0.6
$m=l=2$	0.6	0.4
$m=l=3$	0.3	0.2
$m=l=4$	0.4	
$m=l=5$	0.2	
$m=l=6$	0.1	

交叉路口的类型分为 6 类,第 1 类为主干道与主干道相交交叉口;第 2 类为主干道与次干道相交交叉口;第 3 类为主干道与支路相交交叉口;第 4 类为次干道与次干道相交的交叉口;第 5 类为次干道与支路相交的交叉口;第 6 类为支路与支路相交的交叉口。路段类型分为 3 类,第 1 类为主干道;第 2 类为次干道;第 3 类为支路。

在本文中,区域内优先考虑等级较高的道路保持顺畅。所以在权重设置中,将等级较高的交叉口/路段赋予较高的权重。

$f(\cdot)$ 显然是一个非线性函数。找出 $f(\cdot)$ 的具体数学表达式很困难。本文采用基于层次支持向量机的方法避免了具体数字表达式的确立。

2 本文方法

2.1 层次支持向量机

支持向量机是一种基于统计学习理论的机器学习方法。目前应用较多的多类分类方法有:①一对多法;②一对一法;③层次支持向量机;④有向无环图;⑤对类别进行二进制编码的纠错编码 SVMs^[9]。

刘志刚等^[10]的研究发现,当层次结构形态接近于正态树(从顶层开始,每个包含多个类别的节点都将类别均分成两类)时,层次支持向量机将

具有理想训练速度,同时分类时仅需要非常少量的分类器。

给定一个 k 类分类问题,学习样本为 $(x_1, y_1), \dots, (x_l, y_l); x_j \in R^n, j=1, \dots, l; y_j \in \{1, 2, \dots, k\}$ 。该分类算法是个四元组: $\langle F, P, SVM, SC \rangle$ 。 $f = \{f_1, \dots, f_i, \dots, f_k\}$ 是二叉树的终止节点集合,它由待识别系统的 k 个可能的模式集构成。 $P = \{p_1, \dots, p_i, \dots, p_k\}$ 表示各模式类发生的优先级,由各种状态发生的频率的高低排序确定。最可能出现的状态优先级定为 p_1 ,发生可能性最低的状态定为最后一级 p_k 。 P 决定了分类器中多个支持向量机的安排方式。 $SVM = \{SVM_{p_1}, \dots, SVM_{p_i}, \dots, SVM_{p_{k-1}}\}$ 是由所设计的 $k-1$ 个支持向量机组成的二叉树的全部非终止节点集合。对一个 k 类分类问题,需要构造 $k-1$ 个 SVM,如图 1 所示。其中第 i 个 SVM 决定的模式类优先级为 p_i 。 $SC = \{SC_1, \dots, SC_i, \dots, SC_k\}$ 为属于 k 个模式类别的全部学习样本集合,其中 $SC_i = \{(x_1, y_1), \dots, (x_l, y_l), \dots, (x_i, y_i)\}$,表示第 i 类样本的组成, $x_j \in R^n, y_j \in \{1, 2, \dots, k\}$ 。 $\sum_{SC} l_i = l$ 构成全部学习样本。

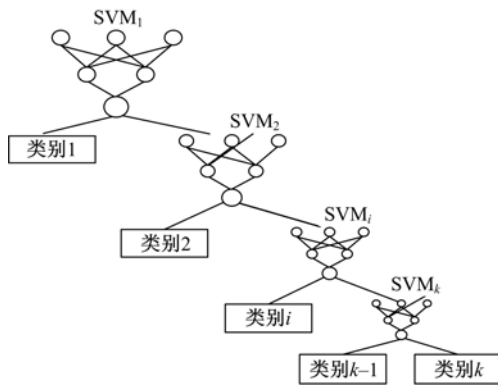


图 1 基于二叉树的 k 类分类结构

Fig. 1 k category classification structure based on binary tree

随着优先级的降低,训练样本数逐渐减少。第 i 个 SVM 用来解决以下问题:

$$\min_{w_i, b_i, \xi_i} \frac{1}{2} (w_i)^T w_i + C \sum_{j=1}^l \xi_j^i \quad (4)$$

对每一级 SVM 训练后找出对应该级的支持向量,建立最优分类超平面。由于 $k-1$ 个 SVM 是按照优先级由高到低排列的,新模式产生时,只需按照二叉树由高到低进行搜索,就可以获得结论。

2.2 本文方法的提出

由于 H-SVMs 的上述优点和特性,本文将将其选做优化交通控制策略的主要方法,使得区域战略交通控制策略能够根据时变的交通状态而不断得到优化,构造了如图 2 所示的优化策略结构。

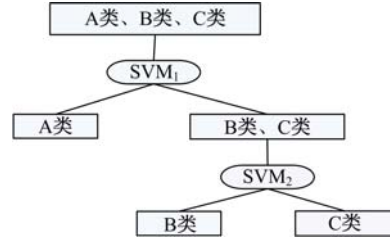


图 2 基于二叉树的区域交通控制策略优化结构

Fig. 2 Regional traffic control strategies optimization classifiers based on binary tree SVM

该多级结构由两层 SVM 组成,每层有一个 SVM。输入是区域平均饱和度 $SA_i(k)$ 和区域平均速度 $SP_i(k)$ 。输出是控制策略的编码 $\{-1, 0, 1\}$ 。 -1 表示感应控制, 0 表示自适应控制, 1 表示定时控制。 SVM_1 和 SVM_2 的核函数采用如下的径向基函数

$$K(x, x_i) = \exp(-\|x - x_i\|^2 / (2\gamma^2)) \quad (5)$$

根据层支持向量机理论,在 H-SVMs 中如果第一个类别没有很好地划分,原本属于第一个类别的样本由于接下来的类别无法识别,就没有机会再分成第一个类别了,同时原本属于非第一个类别的样本由于被划分为第一个类别,也就无法进行再次划分了,这样每一层上的误差会逐渐自上而下累积起来,影响这种分类方法的分类精度^[11]。因而,本文构造了如图 3 所示的优化策略结构来解决这个问题。

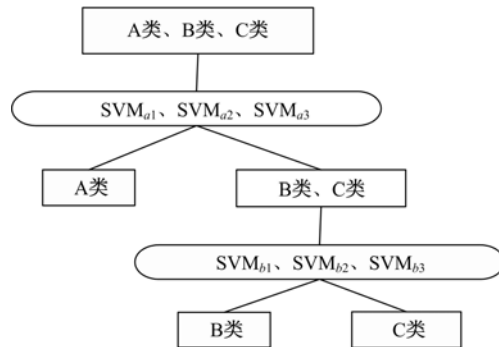


图 3 基于组合二叉树的区域交通控制策略优化结构

Fig. 3 Regional traffic control strategies optimization classifiers based on combined binary tree SVM

该多级结构由两层 SVM 组成,每层有 3 个 SVM。其输入是某区域实时的交通流参数、区域平均饱和度 $SA_i(k)$ 和区域平均速度 $SP_i(k)$ 。输出是控制策略的编码 $\{-1, 0, 1\}$ 。其中的支持向量机 SVM_{a1} 、 SVM_{b1} 采用如式(5)所示的径向基函数; SVM_{a2} 、 SVM_{b2} 采用如式(6)所示的多项式核函数; SVM_{a3} 、 SVM_{b3} 采用如式(7)所示的 *sigmoid* 核函数。

$$K(x, x_i) = [(x \cdot x_i) + 1]^d \quad (6)$$

$$K(x, x_i) = \tanh(-p_1 \cdot (x \cdot x_i) / l + p_2) \quad (7)$$

组合方法采用最简单的投票法。基本的投票法就是根据少数服从多数的原理,如有 3 个分类器中有 2 个分类结果一样,那么决策类为这 2 个分类器的结构。

3 仿真与试验

3.1 仿真试验描述

由于在实际工程中很难获得所需要的样本对,本文采用 VISSIM4.2 仿真软件来获得学习样本和验证样本。仿真中,构造了如图 4 所示的路网。该路网由 20 个交叉口和 45 个路段组成。在该路网中有 4 四条主干道,分别是 32-29-3-6-18-11-21, 27-1-4-7-9-12-22, 26-2-5-8-10-13-23 和 34-30-15-16-17-14-24; 次干道 4 条,分别是 31-29-1-2-30, 28-3-4-5-15, 19-6-7-8-16 以及 20-11-12-13-14。支路是 18-9-10-17。主干道是双向 6 车道,

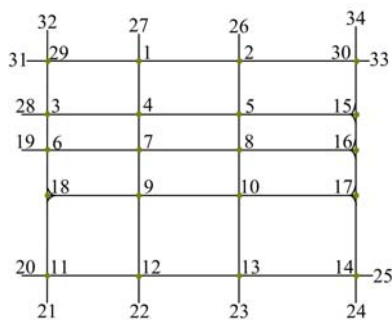


图 4 仿真路网示意图

Fig. 4 Road network of simulation

次干道是双向 4 车道,支路是双向 2 车道。交叉口渠化图如图 5 所示。

基于 H-SVMs 的区域控制策略优化方法是由 LibSVM2.71 Matlab 工具箱开发的。对于不同类别的核函数,采用的参数是 $C = +\infty$, $r = 20$, $d = 4$, $p_1 = 3$, $p_2 = 1$ 。

整个模拟过程分为以下四个部分。第一部分是层次支持向量机学习过程需要使用的学习样本

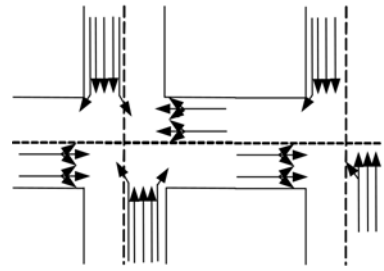


图 5 十字交叉口和 T 型交叉口渠化图

Fig. 5 Channelization of four-leg and three-leg intersection

的获取。这部分是在 VISSIM4.2 模拟平台上实现的。第二部分是利用样本对所建立的层次支持向量机进行训练。这部分是在 Matlab 编程的软件平台上实现的。第三部分是利用已经训练完毕的支持向量机模型生成关于新样本的策略生成过程,这部分也是在 Matlab 编程的软件平台上实现的。第四部分是将生成策略应用于模拟路网中,验证策略的有效性。这部分是在 VISSIM4.2 模拟平台上实现的。

3.2 结果分析

通过仿真获得了 20 对学习样本(见表 2)和 10 对验证样本(见表 3)。对于 20 对学习样本,经过仿真评价可以获得图 6~图 9 的仿真结果,从图中可以获得不同交通状态下的最优控制策略,如表 4 所示。同时,对于 10 对验证样本,经过仿真评价(见图 10~图 13),可以获得最优控制策略如下: 0~1800 时间间隔内,采用感应控制策略效果最优; 1800~3600 时间间隔内,采用自适应控制策略效果最优; 3600~6000 时间间隔内,采用固定配时策略效果最优。

利用二叉树多级支持向量机和组合二叉树多级支持向量机所得出的控制策略如表 5 所示。将其与仿真结果对比,发现基于二叉树多级支持向量机的优化方法在时间间隔 1800-2400 和 4200-4800 出现了错误的优化结果;然而基于组合二叉树多级支持向量机在所有时间间隔内都取得了与仿真结果一致的最优结果。其原因是由于在二叉树多级支持向量机中,第一层的 SVM_1 出现了决策错误,导致在第二层的 SVM_2 产生错误的决策。然而,组合二叉树多级支持向量机克服了 this 缺点,优化结果全部正确。因此,作者提出的组合二叉树多级支持向量机的效率和正确性更高。

表 2 学习样本的加权平均速度和加权平均饱和度

Table 2 Weighted average speed and saturation degree of learning samples

时间段	加权平均饱和度	加权平均速度	时间段	加权平均饱和度	加权平均速度
0—600	0.097	41.37	6000—6600	0.537	36.37
600—1200	0.211	40.24	6600—7200	0.580	36.21
1200—1800	0.246	39.03	7200—7800	0.609	35.51
1800—2400	0.292	38.93	7800—8400	0.661	35.2
2400—3000	0.308	38.61	8400—9000	0.704	34.46
3000—3600	0.363	38.36	9000—9600	0.729	34.17
3600—4200	0.410	38.22	9600—10200	0.765	32.28
4200—4800	0.424	37.65	10200—10800	0.783	29.85
4800—5400	0.460	37.32	10800—11400	0.807	27.28
5400—6000	0.513	37.44	11400—12000	0.820	24.55

表 3 验证样本的加权平均速度和加权平均饱和度

Table 3 Weighted average speed and saturation degree of testing samples

时间段	加权平均饱和度	加权平均速度	时间段	加权平均饱和度	加权平均速度
0—600	0.116	40.29	3000—3600	0.615	35.08
600—1200	0.304	38.30	3600—4200	0.685	33.40
1200—1800	0.385	38.10	4200—4800	0.754	31.18
1800—2400	0.478	36.52	4800—5400	0.801	27.40
2400—3000	0.528	36.65	5400—6000	0.902	25.03

表 4 不同交通控制状态下的控制策略

Table 4 Optimum traffic control strategies for different traffic conditions

序号	时间段	加权平均饱和度	加权平均速度	控制方式	控制类型
1	0—600	0.097	41.37	感应控制	单点
2	600—1200	0.211	40.24	感应控制	单点
3	1200—1800	0.246	39.03	感应控制	单点
4	1800—2400	0.292	38.93	感应控制	单点
5	2400—3000	0.308	38.61	感应控制	单点
6	3000—3600	0.363	38.36	感应控制	单点
7	3600—4200	0.410	38.22	感应控制	单点
8	4200—4800	0.424	37.65	感应控制	单点
9	4800—5400	0.460	37.32	自适应控制	面控
10	5400—6000	0.513	37.44	自适应控制	面控
11	6000—6600	0.537	36.37	自适应控制	面控
12	6600—7200	0.580	36.21	自适应控制	面控
13	7200—7800	0.609	35.51	自适应控制	面控
14	7800—8400	0.661	35.2	固定配时控制	单点
15	8400—9000	0.704	34.46	固定配时控制	单点
16	9000—9600	0.729	34.17	固定配时控制	单点
17	9600—10200	0.765	32.28	固定配时控制	单点
18	10200—10800	0.783	29.85	固定配时控制	单点
19	10800—11400	0.807	27.28	固定配时控制	单点
20	11400—12000	0.820	24.55	固定配时控制	单点

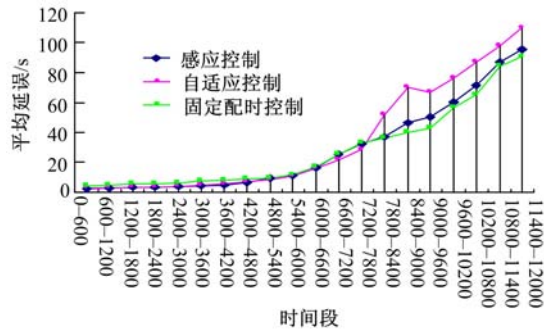


图 6 学习样本在不同控制策略下的平均延误

Fig. 6 Average delay for learning samples

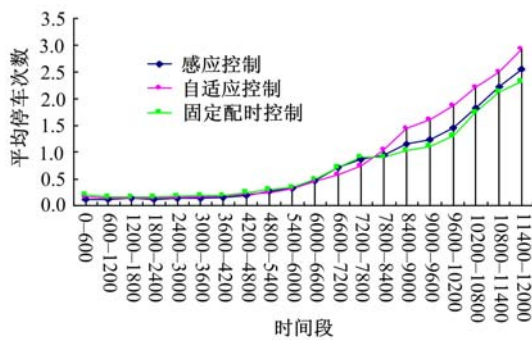


图 7 学习样本不同控制策略下的平均停车次数

Fig. 7 Average stops for learning samples

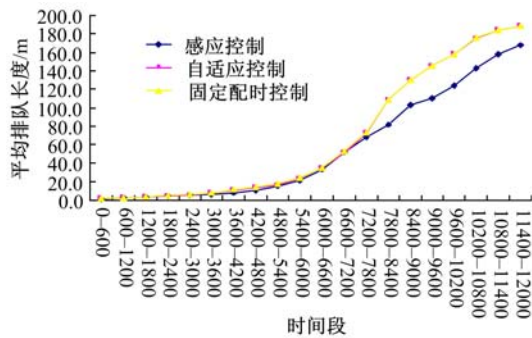


图 8 学习样本在不同控制策略下的平均排队长度

Fig. 8 Average queue length for learning samples

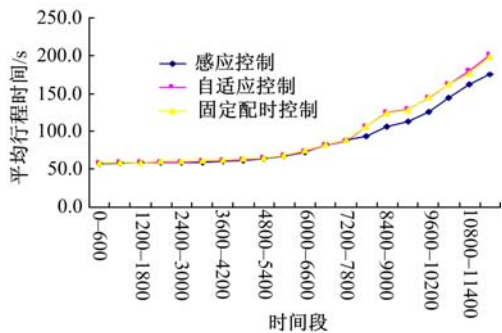


图 9 学习样本在不同控制策略下的平均行程时间

Fig. 9 Average travel time for learning samples

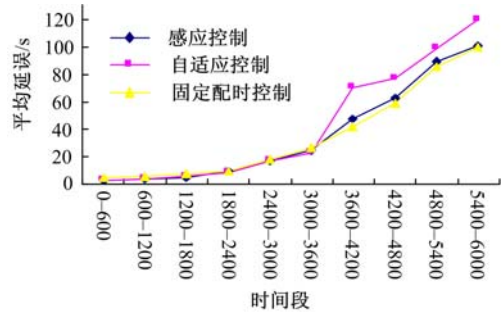


图 10 验证样本在不同控制策略下的平均延误

Fig. 10 Average delay for testing samples

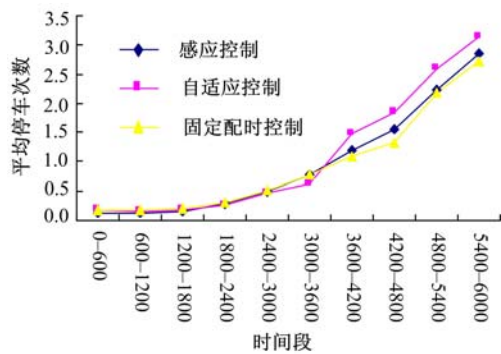


图 11 验证样本在不同控制策略下的平均停车次数

Fig. 11 Average stops for testing samples

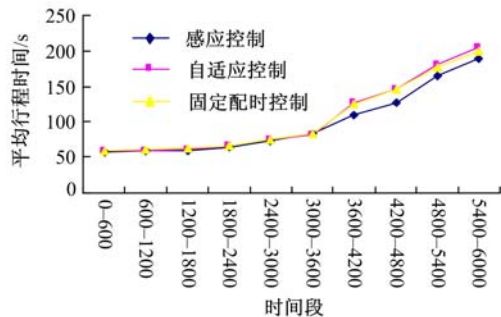


图 12 验证样本在不同控制策略下的平均行程时间

Fig. 12 Average travel time for testing samples

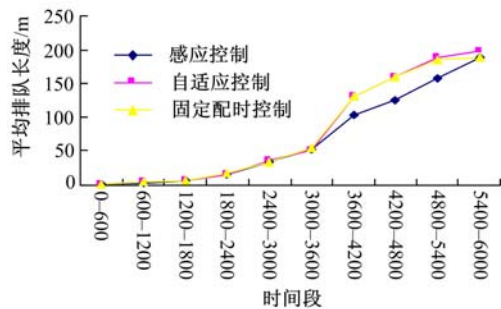


图 13 验证样本在不同控制策略下的平均排队长度

Fig. 13 Average queue length for testing samples

表 5 二叉树多级 SVM 分类器和组合二叉树多级 SVM 分类器输出控制策略
Table 5 Output control strategy based on binary tree SVM and combined binary tree SVM

序号	时间段	二叉树多级 SVM 分类器				组合二叉树多级 SVM 分类器			
		加权平均饱和度	加权平均速度	控制方式	控制类型	加权平均饱和度	加权平均速度	控制方式	控制类型
1	0—600	0.116	40.29	感应控制	单点	0.116	40.29	感应控制	单点
2	600—1200	0.304	38.30	感应控制	单点	0.304	38.30	感应控制	单点
3	1200—1800	0.385	38.10	感应控制	单点	0.385	38.1	感应控制	单点
4	1800—2400	0.478	36.52	感应控制	单点	0.478	36.52	自适应控制	面控
5	2400—3000	0.528	36.65	自适应控制	面控	0.528	36.65	自适应控制	面控
6	3000—3600	0.615	35.08	自适应控制	面控	0.615	35.08	自适应控制	面控
7	3600—4200	0.685	33.40	固定配时控制	单点	0.685	33.40	固定配时控制	单点
8	4200—4800	0.754	31.18	自适应控制	面控	0.754	31.18	固定配时控制	单点
9	4800—5400	0.801	27.40	固定配时控制	单点	0.801	27.40	固定配时控制	单点
10	5400—6000	0.902	25.03	固定配时控制	单点	0.902	25.03	固定配时控制	单点

4 结束语

提出了一种基于 H-SVMs 的区域战略交通控制策略优化方法。给出了两种二叉树多级结构,并通过仿真试验进行了对比,结果表明、基于组合二叉树的层次支持向量机在区域战略交通控制策略的优化方面应用效果更好。由于受一些条件限制,采用了仿真方法进行了相关数据的获取和验证,希望以后能够通过实际工程数据进行更深层次的验证。

参考文献:

[1] Bell Michael G H, Future direction in traffic signal control[J]. Transportation Research A,1992,26(4): 303-312.
 [2] Lo Hong K, A novel traffic signal control formulation[J]. Transportation Research A, 1999, 33(4): 433-448.
 [3] Kwon E,Stephanedes Y. Development of an adaptive control strategy in a live intersection laboratory[J]. Journal of the Transportation Research Board,1998, 1634:123-129.
 [4] Yang Hai,Yagar Sam. Traffic assignment and signal control in saturated road networks[J]. Transportation Research A,1997,29(2):125-139.
 [5] Diakaki C, Papageorgiou M, McLean T. Application and evaluation of the integrated traffic responsive urban corridor control strategy IN-TUC in Glasgow [J]. Journal of the Transportation Research Board,

2000,1727:101-111.

[6] 夏百战,夏浩军. 基于模式识别的自适应区域控制系统研究[J]. 中南公路工程,2006(4):154-157.
 Xia Bai-zhan,Xia Hao-jun. Study of the area adaptive control system based on pattern recognition[J]. Central South Highway Engineering,2006(4):154-157.
 [7] Abu-Lebdeh Ghassan, Benekohal Rahim F. Design and evaluation of dynamic traffic management strategies for congested conditions[J]. Transportation Research A,2003,37(2):109-127.
 [8] 翟忠民. 道路交通组织优化[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
 [9] 赵晖,荣莉莉,李晓. 一种设计层次支持向量机多类分类器的新方法[J]. 计算机应用研究,2006(6):34-37.
 Zhao Hui,Rong Li-li,Li Xiao. New method of design hierarchical support vector machine multi-class classifier[J]. Computer Application Research,2006(6): 34-37.
 [10] 刘志刚,李德仁,秦前清,等. 支持向量机在多类分类问题中的推广[J]. 计算机工程与应用,2004(7):10-14.
 Liu Zhi-gang,Li De-ren,Qin Qian-qing,et al. An analytical overview of methods for multi-category support vector machines[J]. Computer Engineering and Application,2004(7):10-14.
 [11] 殷天石,孙济庆. 基于树型结构的 SVM 多类组合分类器在文本分类中的应用[J]. 情报技术,2006(2):34-36.
 Yin Tian-shi,Sun Ji-qing. Application of text classification based on binary tree SVM multi-classifier [J]. Information,2006(2):34-36.