

基于视频的道路车辆测速系统设计与实现

张俊峰, 尚振宏, 刘 辉

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650504)

摘 要: 为了对道路上行驶的车辆速度进行有效估计, 提出了一种基于 Harris-Stephen 角点检测算法和归一化互相关(Normalized Cross Correlation method, NCC)匹配算法的视频车辆检测系统。该系统对车辆进行跟踪, 并测算车辆在干道和高速公路上的速度。通过使用 Harris-Stephen 角点检测兴趣点, 利用归一化互相关算法匹配对应角点, 利用点对应关系确定车辆行驶的像素位移。根据车辆在连续视频帧中所有角点的总位移计算车辆的平均位移, 结合帧率估计车速。实验结果表明, 系统测速精度高, 能实时估计出车辆行进的速度。

关键词: 车辆检测; Harris 算法; 归一化互相关; 角点匹配; 像素位移; 车速估计

DOI: 10.11907/rjdk.172419

中图分类号: TP319

文献标识码: A

文章编号: 1672-7800(2018)004-0127-04

Design and Implementation of Vehicle Speed Measurement System Based on Video

ZHANG Jun-feng, SHANG Zhen-hong, LIU Hui

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650504, China)

Abstract: In order to estimate the vehicle speed on the road effectively, this paper proposes an efficient video vehicle speed measurement system based on Harris-Stephen corner detector algorithm and Normalized Cross Correlation method. The proposed system was used to track vehicle and determine vehicle speed at arterial road-ways and freeways. Harris-Stephens corner detection algorithm was used to determine interest points in the image. The normalized cross-correlation method was used to match the corresponding corner points. The displacement shift was determined in pixels corresponding to the vehicle travel. The average displacement of the vehicle was calculated according to the total displacement of the vehicle in all the corners of the continuous video frame, and the vehicle speed in the road is estimated by using the frame rate. The experimental result showed that the system had high vehicle speed accuracy to estimate vehicle speed in real time.

Key Words: vehicle detection; Harris algorithm; normalized cross correlation method; corner matching; pixel shift; vehicle speed estimation

0 引言

车辆速度测量是交通管理关键内容之一, 车辆行驶速度估计对于交通管理系统、超速车辆的确定具有重要意义。车辆测速系统的合理使用和管理能够减少道路拥堵, 减少道路交通事故和人员财产损失。

在交通系统应用中, 感应线圈传感器、磁传感器、雷达、微波传感器等用于探测车辆速度的传感器, 这些设备对安装和维护要求较高, 需要运用专业知识进行配置和校

准。基于视频的方法由于其灵活性, 已逐渐取代传统的传感器应用。图像和视频处理广泛用于解决城市交通问题, 这将更好地利用现有道路监控系统。基于视频的运动检测和跟踪在视频监控系统、交通系统、军事、游戏等方面都发挥着基础性作用。

基于视频的测速系统^[1]采用一种新的方法检测车辆速度, 不需要复杂和昂贵的硬件, 只使用视频信息进行速度测量, 易于安装和维护。该方法通过连续的视频帧和道路系统的几何信息提取车辆运动的位移^[2], 从而估计出过往车辆的速度。

收稿日期: 2017-09-01

作者简介: 张俊峰(1979-), 男, 昆明理工大学信息工程与自动化学院硕士研究生, 研究方向为数字图像处理与模式识别; 尚振宏(1975-), 男, 博士, 昆明理工大学信息工程与自动化学院教授、硕士生导师, 研究方向为数字图像处理与模式识别; 刘辉(1969-), 男, 昆明理工大学信息工程与自动化学院教授、博士生导师, 研究方向为数字图像处理与模式识别。

1 系统设计

1.1 硬件安装与视频采集

通常摄像机安装在道路上方或道路一侧,视觉范围覆盖道路中的某一个或多个车道区域,如图 1 所示。



图 1 摄像机及测速区

1.2 系统体系结构

车辆检测采用 Harris Stephen 角点检测跟踪算法确定车辆的角点,角点在每个连续帧中的位置随着车辆的行进而改变,利用归一化互相关(Normalized Cross Correlation method, NCC)匹配算法对应角点。当车辆进入测速区后,根据角点的位置和位移实时计算车速,系统体系结构如图 2 所示。

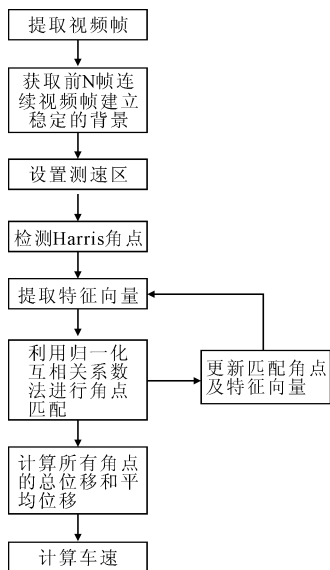


图 2 系统架构

2 点特征检测

2.1 Harris 基本原理

Harris 基本原理^[3]:假设在图像的每个方向上移动一个窗口,如果窗口区域在灰度的各个方向上没有显著变化,如图 3(a)所示,则对应图像的平滑区域;如果窗口区域内在灰度的某个方向上移动有较大变化,如图 3(b)所示,则窗口区域对应图像边缘;如果窗口区域内在灰度的多个方向上有明显变化,如图 3(c)所示,则认为窗口内包含角点。

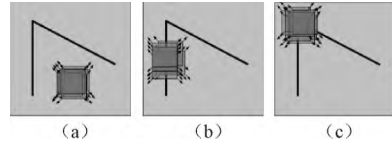


图 3 移动 Harris 窗口进行角点检测

图像 $I(x, y)$ 在点 (x, y) 处平移 (u, v) 后产生的灰度变化 $E(x, y, u, v)$ 如下:

$$E(x, y, u, v) = \sum_{(x, y) \in S} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2 \quad (1)$$

式(1)中, S 是移动窗口区域, $w(x, y)$ 是加权函数,可以是常数或高斯函数。高斯函数对中心点越近的像素赋予越大的权重,以减少噪声影响。

Harris 算子用 Taylor 展开 $I(x+u, y+v)$ 以近似任意方向:

$$I(x+u, y+v) = I(x, y) + \frac{\partial I}{\partial x}u + \frac{\partial I}{\partial y}v + O(u^2, v^2) \quad (2)$$

于是,灰度变化可重写为:

$$E(x, y, u, v) = \sum_{(x, y) \in S} w(x, y) [I_x u + I_y v]^2 = \sum_{(x, y) \in S} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x & I_y \\ I_x & I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u & v \end{bmatrix} \left(\sum_{(x, y) \in S} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} u & v \end{bmatrix} M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} u & v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & c \\ c & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)中, M 是 2×2 的矩阵,它是关于 x 和 y 的二阶函数,因此 $E(x, y, u, v)$ 是一个椭圆方程。椭圆的尺寸由 M 的特征值决定,它表征了灰度变化最快和最慢的两个方向;椭圆的方程由 M 的特征矢量决定,如图 4 所示。

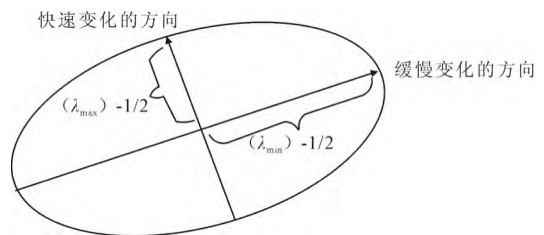


图 4 二次项特征值与椭圆的关系

二次项函数的特征值与图像中的角点、直线和平面之间的关系可分为以下 3 类:

(1) 图像中的边缘。一个特征值大,另一个特征值小,自相关函数在某一方向大,其它方向小,对应图像的边缘或直线。

(2) 图像中的平面。两个特征值都很小,自相关函数在各方向较小,对应图像的平面区域。

(3) 图像中的角点。两个特征值都很大,自相关函数在所有方向增大,对应图像的角点。

由于求解矩阵 M 的特征值需要较大的计算量,而两个特征值的和等于矩阵 M 的迹,两个特征值的积等于 M

的行列式,所以 Harris 使用一个角点响应值来判定角点质量:

$$R = \lambda_1 \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2 = \det(M) - k[\text{tracer}(M)] = (ac - b)^2 - k(a + c) \quad (4)$$

式(4)中, k 是经验常数,一般取值范围为 0.04~0.06。

2.2 Harris 算法流程

(1)首先,计算图像 $I(x, y)$ 在 x 和 y 两个方向上的梯度 I_x 和 I_y :

$$\begin{aligned} \frac{\partial I}{\partial x} &= [-1, 0, 1] \otimes I \\ \frac{\partial I}{\partial y} &= [-1, 0, 1]^T \otimes I \end{aligned} \quad (5)$$

(2)其次,计算每个像素点上的相关矩阵:

$$\begin{aligned} a &= w(x, y) \otimes I_x^2 \\ b &= w(x, y) \otimes I_y^2 \\ c &= w(x, y) \otimes (I_x I_y) \end{aligned} \quad (6)$$

(3)然后,计算每个像素点的角点响应值 R :

$$R = (ab - c^2) - k \cdot (a + b)^2 \quad (7)$$

(4)最后,在 $N \times N$ 范围内寻找极大值点。如果 Harris 响应大于阈值,则将其视为角点。

2.3 Harris 角点性质

Harris 角点有以下 4 点性质^[4]:

(1)敏感因子 k 对角点检测有影响。对矩阵 M 的特征值,假设 $\lambda_1 > \lambda_2 > 0, \lambda_1 = \lambda_2, \lambda_2 = \alpha\lambda$,则式(7)可重写为:

$$R = \lambda_1 \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2 = \alpha\lambda^2 - k(\lambda + \alpha\lambda)^2 \geq 0 \quad (8)$$

于是得到:

$$0 < k < \frac{\alpha}{(1 + \alpha)^2} \leq \frac{1}{4} \quad (9)$$

由式(9)可以看出,增加敏感因子 k 将减小角点的响应值,降低角点检测的灵敏度,减少被检测角点的数量。

(2)Harris 算子具有灰度不变性。由于 Harris 在进行 Harris 角点检测时,使用了微分算子,因此对图像的亮度和对比度进行仿射变换并不改变 Harris 响应 R 的极值,只是由于阈值的选择可能会影响检测角点的数量。

(3)算子具有旋转不变性。二阶矩阵 M 可以表示为一个椭圆。当椭圆旋转时,特征值并不随其变化,判断角点的值也不发生变化。因此,Harris 算子具有选择不变性。当然,平移更不会引起 Harris 算子的变化。

(4)算子不具有尺度不变性。如图 5 所示,左图缩小,当检测窗口尺度不变时,窗口内所包含的图像完全不同,左图可能被检测为边缘,而右图则可能被检测为角点。

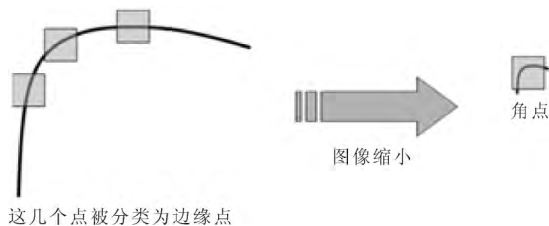


图 5 Harris 算子不具有尺度不变性

3 图像匹配

3.1 基于特征匹配

基于特征的图像匹配^[5-7]是常见的方法,对于不同特性图像,选择图像中容易提取并能在一定程度上代表待匹配图像相似性的特征作为匹配依据,可以克服利用图像灰度信息进行图像配准的缺点。特征匹配有速度快、匹配效率高的特点。特征的提取可以到亚像素级别,精确度较高;匹配元素为物体的几何特征,对光照变化不敏感。

基于特征的匹配以图像的特征集合为分析对象,其基本思想是:首先根据特定应用要求处理待匹配图像,提取特征集合;然后将特征集合进行匹配对应,生成一组匹配特征对集合。

3.2 归一化互相关算法

对提取的角点进行匹配,找出两帧图像角点之间的对应关系,采用归一化互相关算法 NCC 来匹配角点^[8-9]。使用 NCC 算法计算图像特征点的相关性,计算结果越趋于 1 相关性越强,从而获得成对的相关角点。归一化相关系数定义为:

$$C = \frac{\sum_{i=-k}^k \sum_{j=-l}^l [I(u+i, v+j) - \overline{I(u, v)}] \times [I'(u'+i, v'+j) - \overline{I'(u', v')}]}{\sqrt{\sum_{i=-k}^k \sum_{j=-l}^l [I(u+i, v+j) - \overline{I(u, v)}]^2 \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-l}^l [I'(u'+i, v'+j) - \overline{I'(u', v')}]^2}} \quad (10)$$

k, l 是相关运算的窗口大小, $\overline{I(u, v)}$ 是对应窗口内灰度的平均值,表示为

$$\overline{I(u, v)} = \frac{\sum_{i=-k}^k \sum_{j=-l}^l I(u+i, v+j)}{(2k+1)(2l+1)} \quad (11)$$

采用归一化互相关算法进行角点匹配,寻找前后两帧所有可能的对应角点。

4 车速计算

Harris-Stephens 角点检测用于确定兴趣点,采用点匹配方法进行跟踪。设 d_r 表示第 j 帧角点 (x_1, y_1) 到第 $j+k$ 帧对应角点 (x_2, y_2) 的像素位移^[10]:

$$d_r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (12)$$

在测速区中可能检测许多个 Harris 角点(假设为 n 个),计算这些角点和其匹配点的位置变化,角点的总位移量为 d_T ,取这些位移数据的均值为 d_A :

$$d_A = d_T / n \quad (13)$$

N 为帧率,即每秒视频处理的帧数, D 为点 (x_1, y_1) 至点 (x_2, y_2) 的真实距离(km)与像素位移比,计算时速 v 为:

$$v = d_A \cdot D / 3\,600 \text{ k/N} \quad (14)$$

图 6 显示了第 j 帧到第 $j+k$ 帧点 (x_1, y_1) 至点 (x_2, y_2) 的位移,白色“*”为检测出的角点。



图6 车辆上的 Harris Stephen 角点

5 系统实现

车辆检测和跟踪过程中采用 Harris 检测算法确定角点,提取特征向量,利用 NCC 算法匹配连续帧的前后角点,计算所有角点的位移量。根据平均位移量、帧率估算车辆速度^[11-12]。

Harris 角点检测算法和 NCC 匹配算法^[13]只执行在测速区内,以减少该系统的处理时间。具体步骤如下:①通过连续的前 N 帧图像建立背景区域;②设置测速区;③在测速区检测第 j 帧图像 Harris 角点,提取角点的特征向量;④在测速区检测第 $j+k$ 帧图像 Harris 角点,提取角点的特征向量;⑤利用 NCC 算法匹配第 j 帧和第 $j+k$ 帧角点,更新角点和特征向量,计算所有角点的总位移和平均位移;⑥计算和显示车速。

6 实验结果

为验证系统检测结果,在配置为 CPU:i5-4210H、主频 2.90Hz、内存 4GB 的 Matlab2014a 平台上对车辆进行测速,从道路摄像头获取视频图像,图 7 显示了系统运行时的部分测量结果,其中黑色“+”为检测出的车辆角点。

从图 7 得到部分速度测量值分别为:(a)38.7 km/h;(b)39.9 km/h;(c)38.3 km/h;(d)33.3 km/h。

为评估算法性能,使用带有 GPS 功能的车载行车记录仪记录了车辆运动的实际速度,并收集了测速系统测量数据和变化范围,如表 1 所示。

表1 实际车速与测量结果

序号	实际车速(km/h)	系统测量值(km/h)
1	35±1	35.38;36.2;35.5;33.83;34.18
2	41±1	41.37;40.08;39.6;42.2;41.69
3	60±1	59.21;60;61.4;58.89;59.03
4	44±1	44.32;42.96;44.67;43.57;45.12
5	33±1	33.76;34.12;33.84;32.67;33.58

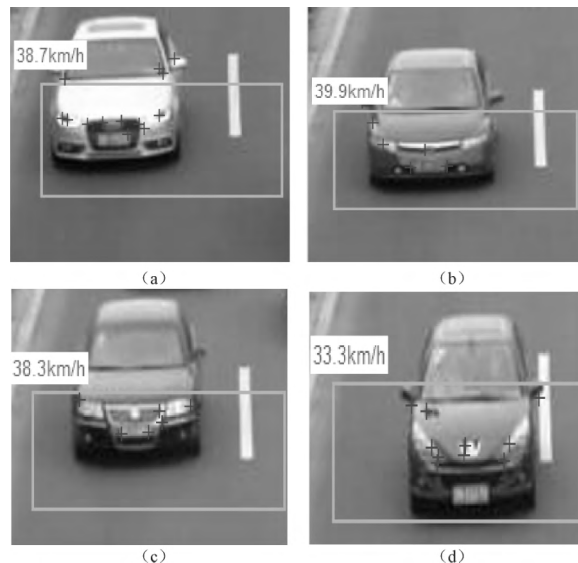


图7 测量结果

从表 1 可以看出,测量值接近于真实车速,具有较高精度。

7 结语

本文介绍了一种基于视频图像处理技术的车辆速度测量系统,通过在连续视频帧中提取车辆的 Harris 角点,归一化互相关算法 NCC 匹配对应角点,结合道路几何信息计算车辆的位移,实时估计出车辆速度,帮助确定车辆是否超速。该系统仅由一个道路监控摄像机和一台计算机构成,安装维护方便。随着道路交通的快速发展,该系统可不过多增加成本和预算,利用现有道路监控设施进行改造,通过进一步提高测速精度并结合车牌检测对超速违章车辆进行车牌抓拍识别,对道路交通进行有效管控,减少交通事故,具有良好的经济和社会效益。

参考文献:

- [1] LINS R G, GIVIG S N, KURKA P R G. Velocity estimation for autonomous vehicles based on image analysis[J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 2015, 65(1): 1-2.
- [2] KASSEM W, KOSBA A E. RF-based vehicle detection and speed estimation[J]. Vehicular Technology Conference, 2012(1): 1-5.
- [3] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [C]. In Proceedings Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, UK, 1988: 147-151.
- [4] ATKOCIUNASI E, BLAKE R, JUOZAPAVICIUS A. Image processing in road traffic analysis[J]. Nonlinear Analysis: Modeling and Control, 2005, 10(4): 315-332.
- [5] BENSRAHAIR A, BERTOZZI M, BROGGI A. A cooperative approach to vision-based vehicle detection [J]. IEEE Intelligent Transportation Systems, August 2001(2): 207-212.
- [6] LIU M, WU C, ZHANG Y Z. Motion vehicle tracking based on multi-resolution optical flow and multi-scale harris corner detection [J]. In Proceedings of the 2007 IEEE. International Conference on Robotics and Biomimetics. Sanya, 2007, 29(9): 2032-2036.

(下转第 134 页)

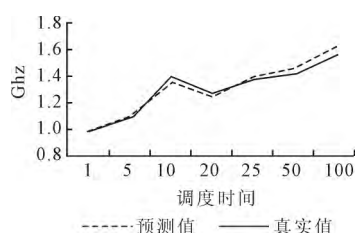


图3 预测值与真实值比较

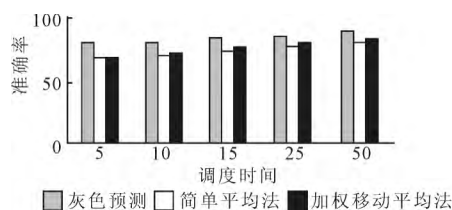


图4 三组预测算法比较

通过 SLA 的违背次数评价弹性云动态伸缩的可靠性,如图 5 所示。服务刚被创建时,使用响应式伸缩模型,SLA 的违背次数较多。预测式伸缩模型启动后,SLA 的违背次数就变得非常小。

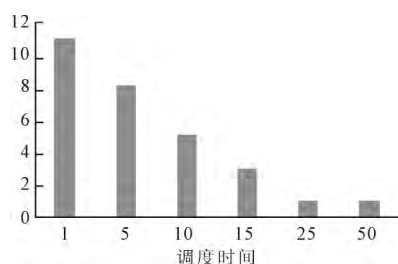


图5 SLA 违背次数

5 结语

本文设计并实现了一个基于 Docker Swarm 集群的动态伸缩功能。设计了响应式伸缩模型与基于灰色预测的伸缩模型,以调度集群的伸缩。实验结果证明,灰色预测模型具有良好的预测准确率,且该 Docker Swarm 集群动态伸缩功能具有良好的可靠性。但灰色预测模型在波动性较大的情况下精准度欠佳,未来将对这一问题进行改进。

参考文献:

- [1] 吴吉义,平玲娣,潘雪增,等. 云计算:从概念到平台[J]. 电信科学, 2009(12):168-171.
- [2] 刘鹏程. 云计算中虚拟机动态迁移的研究[D]. 上海:复旦大学, 2009.
- [3] 李冰. 云计算环境下动态资源管理关键技术研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2012.
- [4] 马越,黄刚. 基于 Docker 的应用软件虚拟化研究[J]. 软件, 2015, 36(3):10-14.
- [5] 刘思尧,李强,李斌. 基于 Docker 技术的容器隔离性研究[J]. 软件, 2015, 36(4):110-113.
- [6] FELTER W, FERREIR A, ARAJJAMONY R, et al. An updated performance comparison of virtual machines and linux containers[J]. Technology, 2014(2):28-32.
- [7] 肖斐. 虚拟化云计算中资源管理的研究与实现[D]. 西安:西安电子科技大学, 2010.
- [8] 孙瑞峰,赵政文. 基于云计算的资源调度策略[J]. 航空计算技术, 2010(3):123-125.
- [9] SHI L L, YANG S B, GUO L M, et al. A Markov Chain based resource prediction in computational grid[C]. Frontier of Computer Science and Technology, 2009. FCST'09. Fourth International Conference on, 2009:119-124.
- [10] CARON E, DESPREZ F, MURESAN A. Forecasting for grid and cloud computing on-demand resources based on pattern matching[J]. Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2010 IEEE Second International Conference on, 2010(12):456-463.
- [11] REN X N, LIN R H, ZOU H. A dynamic load balancing strategy for cloud computing platform based on exponential smoothing forecast[C]. Cloud Computing and Intelligence Systems (CCIS), 2011 IEEE International Conference on, 2011.
- [12] PADGETT J, DJEMAME K, DEW P. Predictive run-time adaptation for service level agreements on the grid[J]. 21st UK Performance Engineering Workshop. Nottingham, 2005(7):267-269.
- [13] DINDA P. Online prediction of the running time of tasks[J]. Cluster Computing, 2002, 5(3):225-236.
- [14] SMITH W, FOSTER I, TAYLOR V. Predicting application run times using historical information[J]. Lecture Notes in Computer Science, 1998, 1459(122):183-185.
- [15] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1990.

(责任编辑:杜能钢)

(上接第 130 页)

- [7] 张勇,余建平,孙军伟,等. 基于 Harris 的角点匹配算法研究[J]. 计算机与现代化, 2011(11):78-81.
- [8] 李冬梅,王延杰. 一种基于特征点匹配的图像拼接技术[J]. 微计算机信息, 2008, 24(15):296-298.
- [9] STEFANO L D, MATTACOCIA S, MOLA M. An efficient algorithm for exhaustive template matching based on normalized cross correlation [C]. In Proceedings of the 12th International Conference on Image Analysis and Processing, Los Alamitos CA, 2003:322-327.
- [10] 苏恒强,冯雪,于合龙,等. 基于 Harris 角点检测的位移测量算法[J]. 实验力学, 2012, 27(1):45-53.
- [11] KATSUKI T, MORIMURA T, INOUE M. Traffic velocity esti-

mation from vehicle count sequences[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2016(99):1-13.

- [12] SRINIVASA N. A vision-based vehicle detection and tracking method for forward collision warning[C]. Proc. IEEE Intelligent Vehicle Symposium, Malibu; the IEEE Intelligent Transportation Systems Council and INRETS, 2002(2):626-631.
- [13] MOAVENI B, ABAD MKR, NASIRI S. Vehicle longitudinal velocity estimation during the braking process using unknown input Kalman filter[J]. Vehicle System Dynamics, 2015, 53(10):245-256.

(责任编辑:杜能钢)