

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.06.014

基于改进的三帧差和卡尔曼滤波的车辆检测方法

王彬, 龙永红, 舒小华, 李泉明

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 针对卡尔曼滤波方法在车辆检测中存在背景更新参数固定、背景建模实时性较差的问题, 提出了三帧差法与自适应卡尔曼滤波算法相结合的运动车辆检测方法。先采用三帧差法快速提取车辆运动区域, 再采用高斯分布确定背景更新参数, 同时更新背景模型, 最后将两者得到的图像相减得到最终检测结果。实验结果表明, 该算法的背景更新速度较快, 运动目标提取效果较好。

关键词: 车辆检测; 三帧差法; 卡尔曼滤波; 背景更新

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)06-0055-05

Vehicles Detection Based on Three-Frame-Difference and Improved Kalman Filter Method

Wang Bin, Long Yonghong, Shu Xiaohua, Li Quanming

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: As the existing Kalman Filter used in vehicles detection had some disadvantages of fixed background updating parameters and poor background modeling real-timeliness, proposed an vehicle detection algorithm based on three-frame-difference and adaptive Kalman filter method. Firstly extracted the vehicle motion region by three-frame-difference method, then determined the background updating parameters by Gaussian distribution and updated the background model, lastly obtained final result by the two subtracting image. Experimental result shows that the improved algorithm updates backgrounds quickly and extracts moving targets effectively.

Keywords: vehicles detection; three-frame-difference method; Kalman filter; background updating

0 引言

智能交通系统 (intelligent transportation system, ITS) 在解决交通拥堵问题时, 以其实时、高效、准确的特点而受到业界的认可, 而车辆检测技术在该公司中非常关键, 因此, 其一直受到人们的高度重视^[1]。针对车辆检测, 研究者们提出了大量的方法, 如基于超声波的检测、基于雷达的监测、基于红外

的检测、基于地感线圈的检测以及基于视频的检测。相较于其它几种方法, 基于视频图像处理的检测技术具有成本低、安装灵活、应用范围广等优点, 更重要的是其可提供大量的、全面的交通管理信息。目前, 基于视频的检测方法常用的有帧差法、背景减法 and 光流法等, 其优缺点如下:

1) 帧差法能准确地检测到运动目标, 且实时性好, 更新速度快, 算法简单, 计算量小^[2], 但是, 其

收稿日期: 2012-09-20

基金项目: 湖南省科技计划基金资助项目 (2012FJ3038), 湖南省高校产业化培育基金资助项目 (10CY006)

作者简介: 王彬 (1985-), 男, 山东临沂人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为智能检测,

E-mail: wangbin1986hz@163.com

对环境噪声较敏感, 阈值的选择非常关键。当运动目标较大、颜色一致时, 可能会在目标内部产生空洞, 无法完整地提取运动目标^[3]; 当运动目标缓慢运动或静止时, 其检测效果也不尽如人意。

2) 背景减除法一般能提供视频中完整的数据, 但是, 其必须有背景图像, 且背景图像必须能随着光照或外部环境的变化而实时更新, 因此, 背景减除法的关键是背景建模及其更新^[4]。由于拍摄环境的特殊性, 现场的光照条件时刻都在变化, 若遇到阴雨天, 光照变化更加剧烈; 同时, 由于路口车辆有可能因为红绿灯等原因而停车, 这些状况都会对背景建模和更新造成较大的干扰。

3) 光流法主要是计算光流场, 即根据图像序列的时空梯度估算运动场, 通过分析运动场的变化来对运动目标和场景进行检测与分割。该方法考虑了视频中的大量信息, 所以检测效果较好, 但是, 其计算量较大, 导致时间成本较高, 实时性不理想, 因此, 一般实际应用中不考虑此方法。

综上所述, 各种检测算法都存在一定的针对性和适用性, 如果脱离了特定场合或条件, 其效果往往不如人意。三帧差分法对于光线等环境变化能够很好地适应, 但是, 帧差后的效果图存在“双影”及“空洞”现象^[5], 而相反, 背景差分法能够弥补帧间差分的缺陷^[6]。因此, 结合帧差法和背景减法的优缺点, 本文提出了将这2种方法相结合来实现车辆检测, 即采用三帧差分法和自适应更新阈值的卡尔曼滤波法相结合的方案对公路上的运动车辆进行检测, 并对改进前和改进后的算法进行对比。

1 算法流程

运动车辆检测算法是三帧差分法和自适应更新阈值的卡尔曼滤波法相结合的方案。三帧差分法是利用累计帧差消除图像中的噪声。卡尔曼滤波法是对过去背景更新参数固定的算法进行改进, 使背景能随视频亮度的变化而自适应更新。利用帧差法实时性好, 更新速度快, 算法简单, 计算量小的特点, 弥补背景建模耗时大的缺陷^[7]。本文运动目标检测算法流程如图1所示, 其基本流程是:

- 1) 采用改进的三帧差分法消除视频图像中的噪声, 并确定运动区域;
- 2) 采用自适应阈值选择的大律法确定背景更新参数 α, β , 对原背景进行实时更新;
- 3) 将已除噪并确定好运动区域的图像与更新后的新背景进行背景减操作, 得到检测结果。

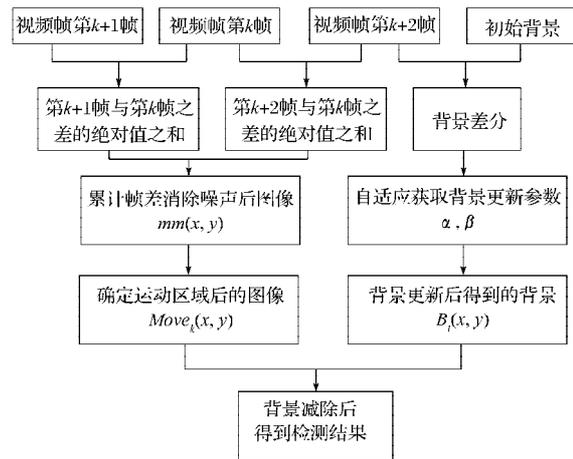


图1 运动目标检测算法流程图

Fig. 1 Flowchart for moving targets detection algorithm

1.1 三帧差分法

传统帧差法公式^[8]如下:

$$d_k(x, y) = |f_k(x, y) - f_{k+1}(x, y)|; \quad (1)$$

$$D_k(x, y) = \begin{cases} 255, & d_k(x, y) \geq T_0, \\ 0, & d_k(x, y) < T_0. \end{cases} \quad (2)$$

式中: $k=0, 1, \dots, n$; $f_k(x, y), f_{k+1}(x, y)$ 分别为第 k 和 $k+1$ 帧像素点 (x, y) 处的亮度分量; $d_k(x, y)$ 为邻帧相应像素点之差的绝对值; T_0 为阈值。

若 $d_k(x, y) \geq T_0$, 则像素点 (x, y) 作为运动目标被保留; 若 $d_k(x, y) < T_0$, 则该像素点作为背景, 其亮度值设为 0。传统帧差法不能检测出静止和运动速度较慢的道路车辆, 特别是在阴雨天或夜间环境下, 更难以满足检测要求^[9], 因此本文对传统帧差法进行了改进, 即三帧差分法利用累计帧差和隔帧帧差相结合的方法提取运动目标。先计算出所有的相邻两帧帧差 d_k 和隔帧帧差 d'_k , 再分别对其累加求和, 即:

$$d'_k(x, y) = |f_k(x, y) - f_{k+2}(x, y)|; \quad (3)$$

$$m_k(x, y) = \sum_{k=0}^{n-1} d_k(x, y); \quad (4)$$

$$m'_k(x, y) = \sum_{k=0}^{n-1} d'_k(x, y). \quad (5)$$

式中: $d'_k(x, y)$ 为隔帧相应像素点之差的绝对值; $m_k(x, y)$ 为邻帧 (x, y) 点亮度差绝对值的累加和; m'_k 为隔帧 (x, y) 点亮度差绝对值的累加和。

在累计帧差的基础上, 消除背景噪声的影响, 即

$$mm(x, y) = \begin{cases} 1, & m(x, y) + m'(x, y) \geq u; \\ 0, & m(x, y) + m'(x, y) < u. \end{cases} \quad (6)$$

对除噪后得到的二值差分图像 $mm(x, y)$ 进行形态学操作, 填充车体内部空洞, 最终得到完整的运动车辆区域。

1.2 更新背景

卡尔曼滤波算法是根据以前得到的信号,利用统计估计理论,把线性最小均方误差作为最优准则,预测信号在将来某个时刻的值,即从与被提取信号有关的测量值中通过算法进行估计,以得出所需信号,其是对随时间改变参数估计的一种最小二乘逼近,考虑了一个随时间变化的状态矢量,并通过一个观察模型测得一组与参数相对应的不同时刻的参数值。基于以上理论,将卡尔曼滤波应用于车辆检测的背景提取和更新中,背景更新的迭代公式为

$$B_{t+1}(x,y) = B_t(x,y) + g(t)[I_t(x,y) - B_t(x,y)], \quad (7)$$

$$\text{式中: } g(t) = \alpha M_t(x,y) + \beta [1 - M_t(x,y)], \quad (8)$$

其中, $M_t(x,y)$ 为运动目标的 Mask 图像,即

$$M_t(x,y) = \begin{cases} 1, & |I_t(x,y) - B_t(x,y)| \geq TH, \\ 0, & \text{其它情况;} \end{cases} \quad (9)$$

$B_t(x,y)$ 为当前帧的背景图像;

$I_t(x,y)$ 为当前 t 帧的输入图像。

整理上式,可得:

$$B_{t+1}(x,y) = \begin{cases} (1-\alpha)B_t(x,y) + \alpha I_t(x,y), & M_t(x,y) = 1; \\ (1-\beta)B_t(x,y) + \beta I_t(x,y), & M_t(x,y) = 0. \end{cases} \quad (10)$$

式中, α, β 在传统卡尔曼滤波中都是根据经验取固定值,但在实际应用中,由于环境、光线的变化等都会影响背景的生成和更新^[10]。因此,本文对原卡尔曼滤波算法进行改进,使其自适应更新参数 α, β , 这样就能实时反映图像特征。

1.3 自适应更新参数

文献[4]利用卡尔曼滤波方法对车辆进行检测,其背景更新速度较慢,因此,本文先利用三帧差法提前提取出了前景目标区域和背景区域,再利用卡尔曼滤波背景更新阈值法对得到的运动车辆区域进行背景更新。为了能实时反映背景的更新,本文构建了能反映图像实时特征的自适应更新参数 α, β , 令 α, β 符合 2 个独立的高斯分布,即:

$$\alpha = \frac{\exp\left(-\frac{(TH - a_{av1})^2}{(2\delta_1^2)}\right)}{\sqrt{2\pi\delta_1^2}}; \quad (11)$$

$$\beta = \frac{\exp\left(-\frac{(TH - a_{av2})^2}{(2\delta_2^2)}\right)}{\sqrt{2\pi\delta_2^2}}. \quad (12)$$

式中: a_{av1}, a_{av2} 分别为当前图像和差影图像的亮度均值; δ_1, δ_2 分别为当前图像和差影图像的标准方差。

采用大津阈值算法得到阈值 TH 。大津阈值法是

按图像的灰度特性,将图像分为目标和背景 2 部分;然后计算两者间的类间方差 g 。 g 越大,说明构成图像的 2 部分之间的差别越大,而当一部分目标错分为背景或一部分背景错分为目标时,将导致这 2 部分之间的差别变小。因此,使 g 最大地分割意味着错分概率最小。

对于当前图像 $I(x,y)$,目标(即前景)和背景的分割阈值为 TH 。前景像素点的数目占整幅图像的比例为 ω_0 ,其平均灰度为 μ_0 ;背景像素点的数目占整幅图像的比例为 ω_1 ,其平均灰度为 μ_1 ;整幅图像的平均灰度记为 μ 。假设图像大小为 $M \times N$,图像中像素点灰度值小于阈值 TH 的个数记作 N_0 ,像素点灰度大于阈值 TH 的个数记为 N_1 ,则

$$\omega_0 = N_0 / (M \times N), \quad (13)$$

$$\omega_1 = N_1 / (M \times N), \quad (14)$$

$$\mu = \omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1, \quad (15)$$

$$g = \omega_0 (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu)^2. \quad (16)$$

将式(15)代入式(16)中,可得

$$g = \omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2. \quad (17)$$

因此,对图像进行遍历,得到使类间方差最大的阈值 TH ,即为所求阈值。

2 算法实现

基于以上叙述,本文算法实现方法如下:

1) 图像预处理。为消除环境中的摄像机抖动、光线的变化及路面积水反光等噪声,视频处理前,先对得到的图像进行预处理,以减少或消除噪声^[11]。预处理是图像处理最基本的,也是非常重要的一步,一般是通过灰度转换、颜色空间(RGB, HSV等)的相互转化、形态学等操作去除图像噪声,如通过膨胀和腐蚀等操作为下一步的目标提取^[12]和跟踪^[13-14]做好准备。采取梯度滤波,即通过式(18)和图像形态学操作得到除噪之后的视频图像。

$$f(x,y) = f(x,y) - f(x-1,y-1) + k, \quad (18)$$

式中: $f(x,y)$ 为当前图像像素点 (x,y) 的亮度值; $f(x-1,y-1)$ 为当前图像像素点 $(x-1,y-1)$ 的亮度值; k 为梯度滤波参数^[13]。

2) 车辆运动区域的获取。利用三帧差分法对视频进行运动车辆的检测,得到灰度图像的差分图像。具体方法是利用式(6)对图像进行背景去噪操作,同时通过式(6)得到二值化图像的前景目标,即车辆运动区域。

3) 自适应更新背景阈值。对于运动区域, 利用式(11)进行背景阈值更新; 而对于非运动区域, 利用式(12)进行背景阈值更新。

与文献[4]针对整幅图像进行目标检测的算法相比, 本文算法只是针对得到的运动区域, 即由式(6)得到的区域, 进行检测, 因而减少了算法耗时。

3 算法分析

为了验证本文算法的有效性, 将二帧帧差法、卡尔曼滤波算法和本文所提算法分别对目标车辆视频进行测试。测试平台为 Windows XP 系统, 测试系统用 VC++ 6.0 和 OpenCV1.0 编程实现。

3.1 算法时间分析

为检测改进后算法背景建模的耗时, 取 500 帧路口视频做建模实验, 卡尔曼滤波算法和本文所提算法的背景建模时间对比结果如图 2 所示。从图中可以看出, 在检测起始阶段, 原卡尔曼滤波算法耗时相对较少, 但随着帧数的增加, 计算成本大大增加, 耗时也大幅度升高; 而本文算法在起始阶段的耗时明显优于原卡尔曼滤波算法, 且随着帧数的增加, 其

时间消耗虽有起伏, 但总体控制在较低的区域, 因此, 本算法在时间成本上优于原卡尔曼滤波算法, 实现了算法设计的初始目的。

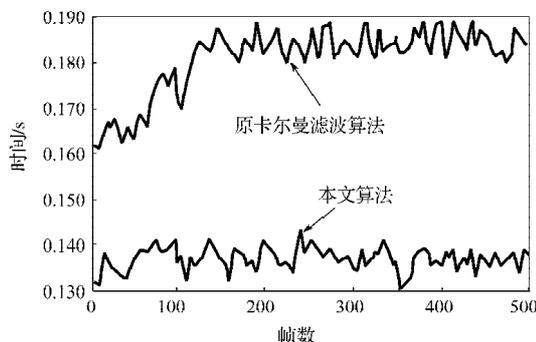


图 2 2 种算法时间比较图

Fig. 2 The chart for time comparison of two algorithms

3.2 检测效果分析

图 3 为传统帧差与本文算法实验效果对比图。从图中可以看出, 利用传统帧差法的检测效果是车辆整体模糊, 车辆轮廓不清晰, 检测结果受噪声的干扰较大; 而本文的三帧差方法能检测出完整的目标车辆, 且车辆轮廓清晰, 从而得到检测目标运动区域, 为进一步处理做好了准备。

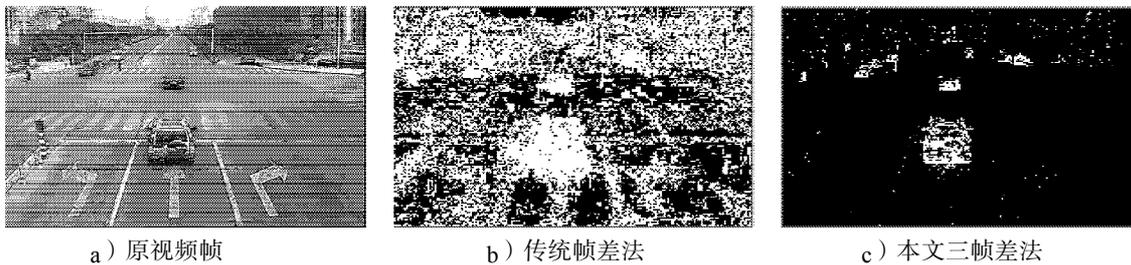


图 3 2 种帧差法对比图

Fig. 3 The contrast charts for two kinds of frame difference method

选取车辆由静止到移动的一段 200 帧视频, 原卡尔曼滤波算法与本文算法的背景生成效果见图 4。

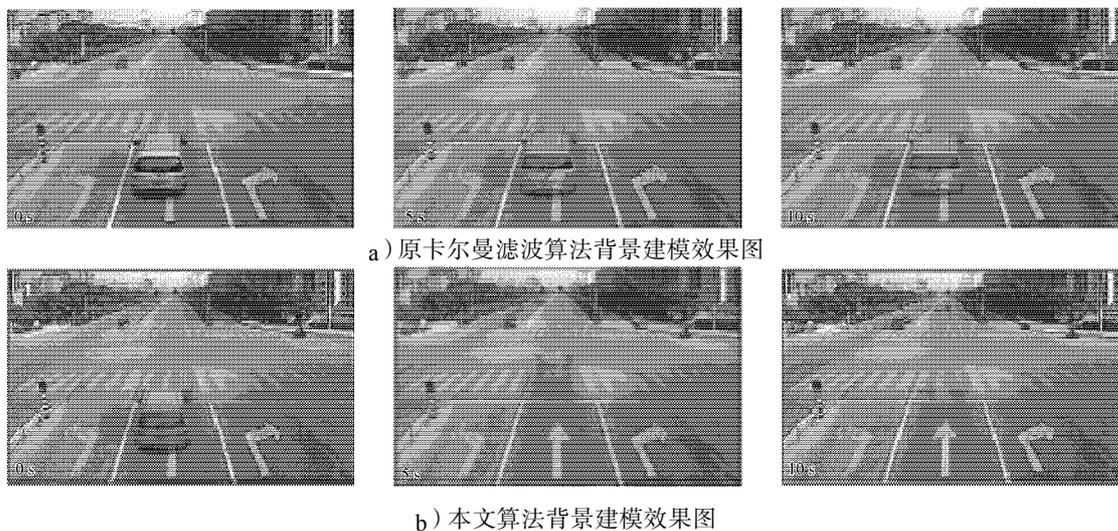


图 4 改进前后效果图

Fig. 4 The chart for the result before and after improvement

在图4中,从左至右分别为2种算法第0s、第5s、第10s时的背景生成图。图a为原卡尔曼滤波算法,更新参数是基于 α 、 β 不变的前提下进行背景建模,其中 α 、 β 根据经验取值0.03;图b为本文自适应更新阈值参数的建模情况,即 α 、 β 由式(11)和(12)给出。由图可以看出,固定的 α 、 β 值在背景更新中会延长更新时间,以至于出现“鬼影”现象,这个残影从第0s到第10s一直存在;而本文算法在第10s时,背景建模已经很清晰。因此,本文算法的背景更新效果明显优于原卡尔曼滤波算法。

4 结论

针对三帧差法和卡尔曼滤波法的优缺点,本文改进了卡尔曼滤波算法,并将三帧差法和卡尔曼滤波法相结合的方法对车辆检测。实验结果表明:

1) 该算法克服了原卡尔曼滤波方法背景建模实时性较差的问题,减少了背景建模的耗时。

2) 原卡尔曼滤波法的更新阈值固定,检测效果模糊,而本文结合三帧差法,在快速检测运动区域的前提下,可较好地检测到目标车辆。

3) 本算法在车辆拥堵时,背景更新效果欠佳,容易将长时间停留的车辆作为背景而纳入背景更新中。这个问题有待以后进一步改进。

综合考虑,本文方法能较好地检测到运动目标区域,为下一步的目标分割和跟踪提供了保证。

参考文献:

- [1] Pal Amit, Schaefer Gerald, Celebi M Emre. Robust Codebook-Based Video Background Subtraction[C]//Proc. of 2010 IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing. Dallas: IEEE Press, 2010: 1146-1149.
- [2] 李丛生, 柏军, 周广禄. 基于帧差法的夜间城市道路车辆检测[J]. 制造业自动化, 2011, 33(2): 212-214.
Li Congsheng, Bai Jun, Zhou Guanglu. Vehicle Detection of City Road at Night Base on Frame Difference[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(2): 212-214.
- [3] 李秋林, 何家峰. 基于三帧差法和交叉熵阈值法的车辆检测[J]. 计算机工程, 2011, 37(4): 172-174.
Li Qiulin, He Jiafeng. Vehicles Detection Based on Three-Frame-Difference Method and Cross-Entropy Threshold Method[J]. Computer Engineering, 2011, 37(4): 172-174.
- [4] 张伟, 鲍旭东. 基于自适应卡尔曼滤波的运动车辆检测[J]. 电路知识与技术, 2008, 3(9): 2051-2053.
Zhang Wei, Bao Xudong. Moving Vehicle Detection Based on Adaptive Kalman Filter[J]. Computer Knowledge and Technology, 2008, 3(9): 2051-2053.
- [5] Piccardi M. Background Subtraction Techniques: A Review [C]//Proceedings of 2004 IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics. Hague: IEEE Press, 2004: 3099-3104.
- [6] Toyama K, Krumm J, Brumitt B, et al. Wallflower: Principles and Practice of Background Maintenance[C]//Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Computer Vision. Kerkyra: IEEE Press, 1999: 255-261.
- [7] Cheung S S C, Kamath Chandrika. Robust Techniques for Background Subtraction in Urban Traffic Video[C]//Proceedings of SPIE International Conference on Video Communications and Image Processing. [S. l.]: SPIE Press, 2004: 881-892.
- [8] Gupte Surendra, Masoud Osama, Martin R F K, et al. Detection and Classification of Vehicles[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2002, 3(1): 37-47.
- [9] Tsai Luowei, Hsieh Junwei, Fan Kuochin. Vehicle Detection Using Normalized Color and Edge Map[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(3): 850-864.
- [10] 王鹏, 黄凯奇. 基于视频的夜间高速公路车辆事件检测[J]. 中国图形图像学报, 2010, 15(2): 301-307.
Wang Peng, Huang Kaiqi. Highway Vehicle Detection at Night Base on Video[J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(2): 301-307.
- [11] 陈柏生, 陈锻生. 采用梯度滤波方法的夜间车辆检测[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2009, 30(1): 42-43.
Chen Baisheng, Chen Duansheng. Nighttime Vehicle Detection Based on Grad-Filtering[J]. Journal of Huaqiao University: Natural Science, 2009, 30(1): 42-43.
- [12] 郎文杰, 宋小鹏. 基于图像融合的联合小波包图像去噪方法研究[J]. 湖南工业大学学报, 2009, 23(6): 17-19.
Lang Wenjie, Song Xiaopeng. The Study on Denosing Method of Joint Wavelet Packet Based on Image Fusion[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2009, 23(6): 17-19.
- [13] 曲巨宝, 王淑娟, 林宏基. 利用Camshift算法实现运动目标自动跟踪[J]. 湖南工业大学学报, 2010, 24(5): 58-63.
Qu Jubao, Wang Shujuan, Lin Hongji. Using Camshift Algorithm to Track Moving Objects Automatically[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2010, 24(5): 58-63.
- [14] 陈胜蓝, 龙永红, 赵序勇. 核窗宽自适应的均值偏移跟踪算法[J]. 湖南工业大学学报, 2012, 26(2): 87-92.
Chen Shenglan, Long Yonghong, Zhao Xuyong. Mean-Shift Tracking Algorithm Based on Adaptive Kernel Bandwidth[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(2): 87-92.

(责任编辑: 邓彬)