

文章编号 1004-924X(2017)03-0806-06

改进的 ViBe 算法及其在交通视频处理中的应用

闵卫东^{1*}, 郭晓光², 韩清¹

(1. 南昌大学 信息工程学院, 南昌 330031;

2. 天津工业大学 计算机科学与软件学院, 天津 300387)

摘要: 基于 ViBe 算法的运动目标检测具有很高的处理效率,但在复杂背景下也存在缺陷,比如不能有效抑制运动目标的残影和鬼影区域、易受噪音干扰,在交通视频的处理中更为明显。鉴于 ViBe 算法的这些不足,本文对 ViBe 原算法提出了改进,结合像素生命长度对鬼影或残影像素进行判断,利用二次更新策略提高消除速度。根据像素值变化引入最大类间方差法,将原有的固定像素阈值变为动态阈值,以提高交通视频中车辆目标检测的抗干扰能力。实验结果表明,在 3 组不同交通场景视频中,改进算法能够在较少帧数内消除目标的残影或者鬼影。对结果的量化分析也证明了改进算法由于应用了动态阈值,使目标检测的精准度和整体性都有所提高。

关键词: 运动目标检测; ViBe 算法改进; 视频处理; 动态噪音抑制; 动态阈值

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20172503.0806

An improved ViBe algorithm and its application in traffic video processing

MIN Wei-dong^{1*}, GUO Xiao-guang², HAN Qing¹

(1. School of Information Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

2. School of Computer Science and Software Engineering,

Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

* Corresponding author, E-mail: minweidong@ncu.edu.cn

Abstract: Moving object detection based on the ViBe algorithm has high processing efficiency, but also some defects under complicated background, for example, it is unable to effectively suppress the ghost shadows and residual shadows of moving objects, vulnerable to noise, which is more apparent in processing of traffic videos. Subject to such deficiencies, the original ViBe algorithm was improved in the paper, as in to make judgment on pixel of ghost shadows and residual shadows by using life length matrix of pixel, to apply second update strategy to improve shadow elimination speed. According to changes of pixel value, OTSU method was introduced to transform the original fixed pixel threshold value into dynamic threshold and to promote the anti-jamming capability of vehicle objects detection contained in traffic videos. The results show that among the three groups of traffic scene video, the improved algorithm is able to eliminate the ghost shadows and residual shadows of moving objects within few frames. The quantitative analysis on results also proved the application of dynamic threshold in such improved algorithm could promote the accuracy and overall performance of object

收稿日期: 2016-12-21; 修订日期: 2017-01-15.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 61302127); 江西省自然科学基金重大资助项目(No. 20161ACB20004)

detection in traffic videos.

Key words: moving object detection; improved ViBe algorithm; video processing; dynamic noise suppression; dynamic threshold

1 引言

视频监控是现代安防系统的重要组成部分,视频监控的处理越来越趋向于智能化和自动化^[1],人们需要其能够自动采集信息、智能分析和处理数据以及自动反馈结果^[2]。而交通监控较室内监控环境更为复杂,背景多是多模态场景,噪音较多,视频中运动车辆的速度、大小均不相同。这就需要有一个健壮、稳定的运动目标检测算法进行处理。

运动目标检测的前提是准确分割出目标,目标分割是后续跟踪的重要基石^[3]。目前,主流的运动目标检测方法有3类:帧间差分法^[4]、光流法^[5]和背景减除法^[6]。背景减除法中常用的 ViBe^[7](Visual Background Extractor)算法是一种高效的像素级视频背景建模和前景减除算法,常用于交通监控视频的处理。但其存在以下不足:(1)当第一帧图像中有运动目标时,会检测出来一个虚拟的前景,即鬼影;(2)当视频中的物体运动状态缓慢改变时,原位移区域总会留下残影;(3)其像素分割阈值是固定不变的,在不同场景中对目标检测的精准度差距较大。

针对以上这些问题,本文对原 ViBe 算法作了改进。针对鬼影和残影问题,在 ViBe 算法的基础上为每个像素值建立了生命长度矩阵,利用二次更新策略将鬼影像素或残影像素再次融入到背景样本更新中进而将其消除。与文献[8]中用 ViBe 结果和帧差分法结果作与运算消除鬼影的方法相比,本文是利用 ViBe 算法自身的特性来消除鬼影的,因而更加快速。文献[8]中方法能够消除在前几帧出现的鬼影,但对于之后出现的鬼影或是静止目标的残影则需要较多的帧数才能消除,并且由于是与帧差分法相结合进行处理的,抗干扰能力较差,检测车辆轮廓时会出现较大的空洞。针对差分阈值选择的问题,文献[9]利用背景方差

和邻域方差分别获取每个像素点的自适应阈值,以适应不同的场景,但这种算法的计算量很大,牺牲了原算法速度快、占用内存小的优势。ViBe 算法是像素级阈值判断,因此本文引入了最大内间方差法的帧级阈值判断并做适当改进,从而减少了自定义阈值的计算量,弥补了 ViBe 原算法不能动态把握图像背景每一帧变化的劣势。

综上,本文针对 ViBe 算法以及现有的一些改进算法存在的不足,提出一种更精确快速、鲁棒性更好的改进 ViBe 算法。本文还通过对3组交通视频进行实验,以验证本文算法对车辆检测的精准度和整体性能。

2 ViBe 算法原理简述

ViBe 算法的原理是在背景建模时采用随机更新和邻域更新的机制^[10],主要包含背景模板初始化、目标检测和背景模板更新3个模块。

2.1 背景模板初始化

对于第一帧序列图像的每一个像素点,均从其八邻域模型(图1所示)中任选一个像素保存到其背景模板中,重复 N 次。记像素 x 位置处的欧式色彩空间值为 $V(x)$,背景建立的模板 $M(x) = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_N\}$, V_i 为背景样本空间中的像素值。

$V^1(x)$	$V^2(x)$	$V^3(x)$
$V^4(x)$	$V(x)$	$V^5(x)$
$V^6(x)$	$V^7(x)$	$V^8(x)$

图1 八邻域模型

Fig. 1 Eight neighborhood model

2.2 目标检测

ViBe 算法根据每个像素对应的背景模型 $M(x)$ 对这一位置新来的像素 $V(x)$ 进行划分,如图2所示, C_1 、 C_2 为颜色矩,定义了一个以像素

$V(x)$ 为中心, R 为半径的球体 $S_R(V(x))$, 计算 $V(x)$ 与 $M(x)$ 中 N 个样本的欧式距离, 根据 $M(x)$ 与 $S_R(V(x))$ 交集的个数判断当前像素属于运动目标还是背景。

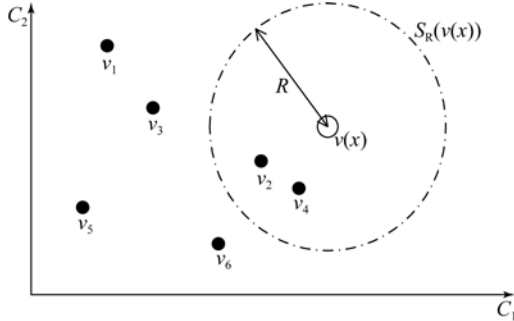


图 2 ViBe 分类模型

Fig. 2 Classification model of ViBe algorithm

2.3 背景模板更新

在模板更新时, 本文采用了保守的更新策略。当像素点 $V(x)$ 被判断为背景时, 更新过程中随机选择背景样本 $M(x)$ 中的一个值, 将其用 $V(x)$ 替换, 同时也等概率地更新该 $V(x)$ 邻域的背景模板样本值。假设时间是连续的, 在 dt 时间后, 模板样本随时间变化的概率如式(1)所示:

$$P(t, t+dt) = e^{-\ln(N/N-1)dt}. \quad (1)$$

可以看出样本更新与时间无关, 采样方式是无记忆式, 这样就提高了算法的动态适应能力。

3 提出的改进算法

随机取样和无记忆的更新策略使 ViBe 算法性能优越, 但仍然有需要改进的不足。本文针对原算法阈值固定和存在鬼影、缓慢目标存在残影的问题做了改进, 以提高检测精确度。

3.1 针对阈值的改进

固定阈值对于单一背景可能有良好的分割效果, 但如果背景是多模态的场景, 固定阈值则会在划分前景和背景时导致精度有所下降。本文应用一维最大内间方差法对原算法进行改进^[11]。最大内间方差法是一种错分概率较小的分割方法。它先计算背景模板中第一个样本值与当前需要判断的这一帧图像的差值, 得到差分图像 $D(x, y)$ 。 $D(x, y)$ 只含有前景和背景两部分, 适用于最大内间方差的分割。

计算 $D(x, y)$ 的最佳划分值, 假设其像素范围

是 $[0, L]$, 取分割阈值为 t , 这样就可以将图像分为两类, 灰度级分别是 $[0, t]$ 和 $[t, L]$ 的两个区域, 分别对应背景和运动目标, 两个区域的类间方差如式(2)所示:

$$\sigma^2 = \omega_0 (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu)^2, \quad (2)$$

其中: ω_0 和 ω_1 分别表示两类区域所占整个像素的概率, μ 为图像的灰度平均值, μ_0 和 μ_1 分别是两类像素点的灰度均值。遍历整个图像, 得到 σ^2 的最大值记为类间方差的最优值, 即为此帧的动态阈值。为了防止阈值过大或过小, 定义了阈值上下界限值为 t_1 和 t_2 。

3.2 针对鬼影、残影的消除策略

当原 ViBe 算法检测的第一帧图像存在快速移动的目标时, 虽然目标已经离开但接下来的图像上依然会留有第一帧图像的鬼影。残影与鬼影类似, 当运动目标由静止到运动或者由运动到静止缓慢变化时, 在原来位置产生的与实际目标不对应的虚拟影子即为残影。本文在原算法的基础上定义了前景像素点生命长度, 用于保存其时间信息, 如果该值超过一定阈值而被判定为前景, 则加入背景的随机更新和邻域二次更新。在后处理中加入了形态学处理, 使目标完整, 背景也更加干净。具体的检测和更新流程如下:

(1) 算法初始化。设定模型的取样数量为 n , 建立背景模板, 初始化前景像素点 (x, y) 的生命长度矩阵 $\mathbf{F}(x, y)$, 定义每个像素标志位 C ;

(2) 前景目标差分。按帧输入图像序列后, 计算每一个新的像素点与 n 个样本点的灰度差。

(3) 计算步骤(2)得到的像素 (x, y) 处灰度差小于自适应阈值 R 的个数 z , 如果 z 大于给定门限值 z_{\min} , 将该像素判断为背景, 并将此像素的标志位 C 置 0, $\mathbf{F}(i, j)$ 为 0, 转到步骤(5); 如果 z 值小于门限值 z_{\min} , 则转到步骤(4)。

(4) 二次更新, 消除鬼影或残影。保守判断为前景时, 将像素标志位 C 置 1, 前景目标像素的生命长度矩阵 $\mathbf{F}(x, y)$ 值加 1。若 $\mathbf{F}(i, j)$ 的值达到生命长度定义的阈值 m , 则此前景点可能是误判的鬼影区域或残影区域, 此时转向步骤(5), 否则转向步骤(2)。

(5) 以 $1/\alpha$ 的概率对背景模板 n 个样本其中一个进行更新, 并用新的背景像素点替代。同时对选取出的被替换样本像素点的八邻域, 也以 $1/\alpha$ 的概率更新。

良好的后处理也是保证前景检测效果的重要条件。用改进方法差分出前景目标后,由于阈值的自适应性及背景样本的随机更新,并不能保证所有目标都是完整清晰的,会出现空洞残缺现象。针对这一问题,本文改进算法使用形态学膨胀和腐蚀的操作,填充空洞,去除细小的背景噪音。最后,寻找到区域中心点,通过区域生长算法使得运动目标更加明显,检测背景更加干净。

4 实验结果与分析

为了验证本文算法在交通场景的应用效果,本文采用3组车辆测试视频进行对比实验。实验

环境和参数设置如下:Windows8.1系统,8 Gb内存,VS2010结合OpenCV2.4.6编程。背景样本数 n 为20,模板更新 α 为16,阈值 m 为15,动态阈值界限 t_1 为20、 t_2 为35。

4.1 对于鬼影的消除实验

针对鬼影消除,选取路口的交通监控视频进行实验。实验结果如图3(彩图见期刊电子版)所示,图3(a)、(e)对应的是监控视频序列第22、66帧图像,图3(b)、(f)是原ViBe算法的检测结果图,图3(c)、(g)是原ViBe算法和帧差法作“与”运算消除鬼影后的检测结果图,图3(d)、(h)是本文改进算法的检测结果图。

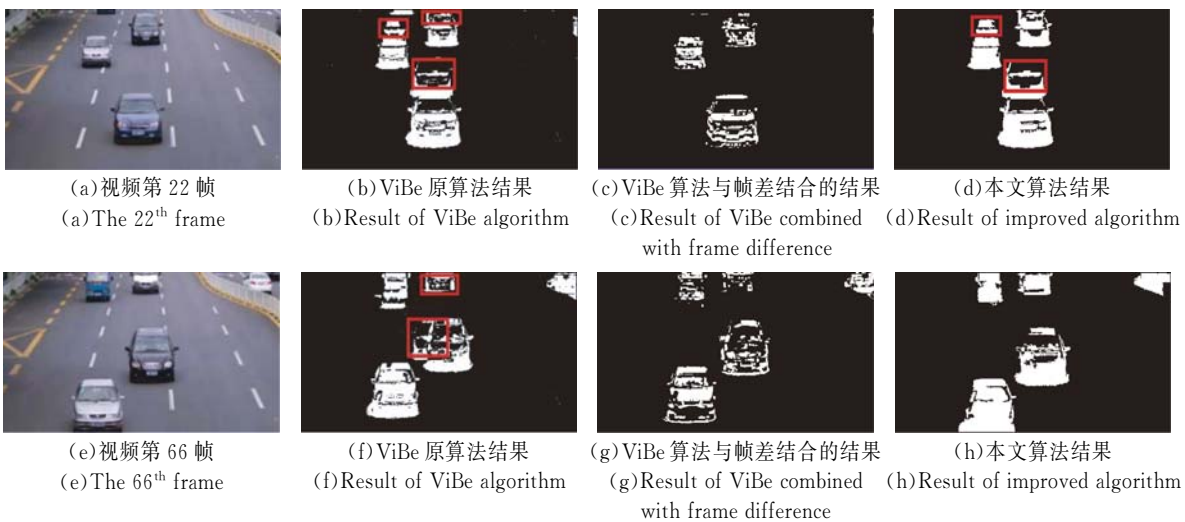


图3 不同算法鬼影消除对比

Fig. 3 Comparison of ghost shadow elimination using different algorithms

由实验结果可以看出,ViBe算法处理的第22帧图像出现了明显的鬼影,采用虚拟检测框对其进行标记(图3中红色矩形框所示)。图3(b)、(f)是通过结合帧差法消除鬼影的,虽然可以在短时间内抑制鬼影,但随着帧数的增加,车辆轮廓里的空洞越来越大,同时帧差法也不能适应背景复杂变化。由图3(h)可知,本文算法在第66帧时能完全抑制鬼影,性能比原ViBe算法有了很大提高,同时车辆的轮廓明显充实,与实际场景相一致。

4.2 对于残影的抑制实验

这一组对比试验选取的是PETS2009中校园交通场景。在这一组场景中,楼房的背景轮廓较为明显,运动目标的速度不一致,同时还有行人走动

的干扰。如图4(彩图见期刊电子版)所示,图4(a)、(b)对应着视频序列第416帧和430帧图像,图4(c)、(d)为原ViBe算法的检测结果图,图4(e)、(f)为本文改进算法在第416帧和430帧的检测结果图。

第416帧时,目标1开始倒车,目标2离开之前处于静止,对于这两个目标,原ViBe算法和本文算法均检测出了较为明显的残影,在图4中用虚拟检测框标记出来。第430帧时,车1进入停车位趋于静止状态,车2开始进入行驶状态,可见,原ViBe算法的检测结果中依然有较大的残影,而本文算法则能够完全消除车辆由静止到进入行驶状态留下的残影,而对于由运动趋于静态的车1留下的残影在30帧后也得到了抑制。

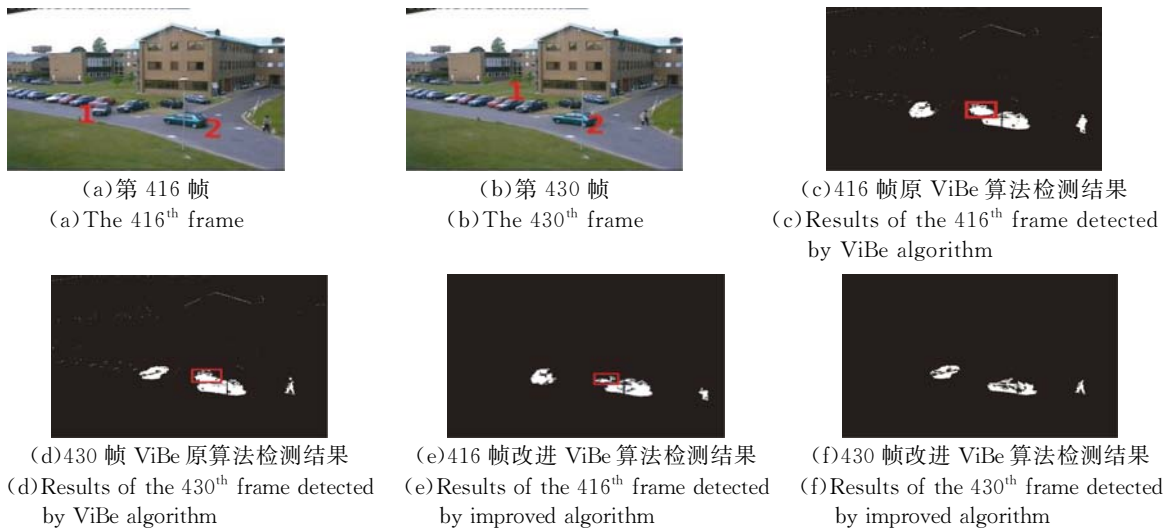


图 4 ViBe 原算法和本文改进算法抑制残影的效果对比

Fig. 4 Comparison of residual shadow suppression results between original Vibe algorithm and improved algorithm

4.3 动态阈值应用

图 5 中的(a)、(b)、(c)、(d) 4 个图分别对应 changedetection.net 2012 数据集 Highway 视频序列的第 1 004 帧原图像及其真值图、ViBe 原算法的目标检测结果图和本文改进算法的检测结果图。通过对比发现,由于高速路中汽车的运动速度很快,会有鬼影粘连现象。马路的背景变化也使得原算法的精确度有所下降。由图 5(c)~(d)可知,

由于 ViBe 算法采用的是固定阈值划分,影响了前景的分割效果,而本文改进算法是通过引用最大类间方差来自适应选取像素阈值的,故可在较少的帧数内有效去除鬼影,加上良好的后处理方法,本文方法检测出的运动车辆较为完整,噪声去除良好,减少了很多误检点,与原图像的真值图基本相近。

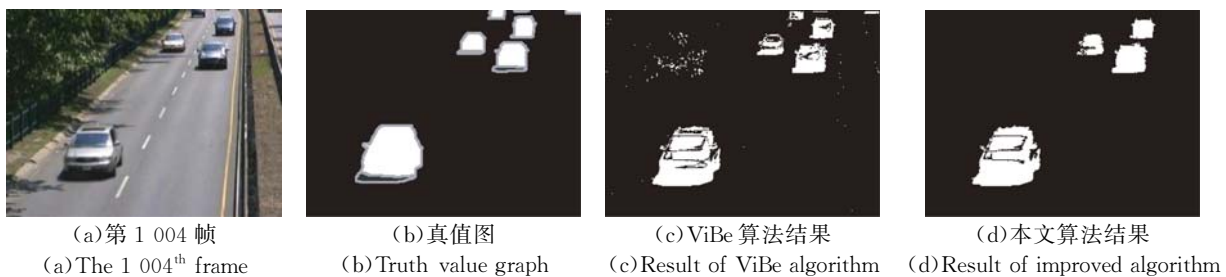


图 5 动态阈值与固定阈值的对比结果

Fig. 5 Comparison results of dynamic threshold and fixed threshold

为进一步证明本文改进算法对于较为复杂的交通场景具有良好的鲁棒性,本文参照网站 <http://www.changedetection.net/>和文献[12]给出的分析方法进行了定量分析,对图 5 所示实验结果作出评估,根据真值图和每一帧的检测结果图得出表 1,分别为原算法和改进算法的精确率(Precision)、召回率(Recall)以及综合评价(F-Measure)的值。

表 1 算法定量分析对比

Tab. 1 Quantitative analysis for different algorithms

	召回率	精确率	综合评价
ViBe	0.767	0.863	0.812
本文算法	0.792	0.896	0.841

从表 1 可以看出,本文算法的精确率、召回率和综合评价均比原 ViBe 算法要高,算法的改进使得检测性能得到了整体提升。

5 结 论

本文对 ViBe 原算法进行了研究分析,针对其在交通视频运动目标检测中出现的不足,提出了一种改进算法。利用二次更新策略在较少的帧数内

快速消除了鬼影以及运动目标状态由静至动、由动至静产生的残影;引入最大内间方差法,通过建立动态阈值以进一步提高算法的检测准确率,并加入了形态学后处理以完善检测目标。在3组交通视频上进行了本文算法和原 ViBe 算法的对比实验,证明了本文算法的有效性和检测性能的提高。

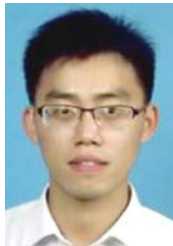
参考文献:

- [1] MAHMASSANI, HANI S. Data-driven intelligent transportation systems: a survey [J]. *Intelligent Transportation Systems*, 2011, 12(4):1624-1639.
- [2] 张仲瑜,焦淑红. 多特征融合的红外舰船目标检测方法[J]. *红外与激光工程*, 2015, 44(S1): 29-34.
ZHANG ZH Y, JIAO SH H. Infrared ship target detection method based on multiple feature fusion [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(S1): 29-34. (in Chinese)
- [3] ZHANG B, PERINA A, LI Z. Bounding multiple Gaussian uncertainty with application to object tracking [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2016, 118(3):1-16.
- [4] LI W, YAO J, DONG T, et al.. Moving vehicle detection based on an improved inter-frame difference and a Gaussian model [C]. *International Congress on Image and Signal Processing*. IEEE, 2015.
- [5] 赖丽君,徐智勇,张翎铤. 应用于稳像系统中的改进梯度光流法[J]. *红外与激光工程*, 2016, 45(4): 273-279.
LAI L J, XU ZH Y, ZHANG X Y. Improved gradient optical flow for digital image stabilization [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, 45(4): 273-279. (in Chinese)
- [6] RAMYA P, RAJESWARI R. A modified frame difference method using correlation coefficient for background subtraction [J]. *Procedia Computer Science*, 2016, 93:478-485.
- [7] BARNICH O, DROOGENBROECK M. ViBe: a powerful random technique to estimate the background in video sequences [C]. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*. Taipei;2009,945-948
- [8] 赵光明,韩光. 基于融合帧间差的改进 ViBe 方法[J]. *计算机技术与发展*, 2015(3):76-80.
ZHAO G M, HAN G. An improved ViBe method based on frame difference of fusion [J]. *Computer Technology and Development*, 2015(3):76-80. (in Chinese)
- [9] HUANG W, LIU L. The moving target detection algorithm based on the improved visual background extraction [J]. *Infrared Physics and Technology*, 2015, 71:518-525.
- [10] BARNICH O, DROOGENBROECK M V. ViBe: a universal background subtraction algorithm for video sequences [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, 20(6):1709-1724.
- [11] 何志勇,孙立宁,陈立国. OTSU 准则下分割阈值的快速计算[J]. *电子学报*, 2013(2):267-272.
HE ZH Y, SUN L N, CHEN L G. Fast computation of threshold based on OTSU criterion [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2013(2):267-272. (in Chinese)
- [12] ANDREA P, IVANA M. Detecting moving shadows: algorithms and evaluation [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(7): 918-923.

作者简介:



闵卫东(1966—),男,江西会昌人,博士,教授,博士生导师,1989年、1991年、1995年于清华大学分别获得学士、硕士和博士学位,1995年至2014年在加拿大 Alberta 大学和 Corel 等跨国公司从事研究工作,主要从事图形图像处理、图形学、分布式系统、智慧城市等方面的研究。E-mail: minweidong@ncu.edu.cn



郭晓光(1992—),男,安徽舒城人,硕士研究生,2014年于天津工业大学获得学士学位,主要从事视频图像处理研究。E-mail: gxxg_tjpu@163.com

(本栏目编辑:李自乐)