

基于形态学的高斯模型和八邻域帧差法 混合运动目标检测算法

杨树国¹, 和文静¹, 刘银玲¹, 马琢麟¹, 胡 帅²

(1. 青岛科技大学数理学院, 山东 青岛 266061; 2. 青岛科技大学信息技术学院, 山东 青岛 266061)

摘要:针对视频中运动目标的提取问题,提出一种基于形态学的高斯模型和八邻域帧差法相融合的提取算法。该算法先将视频中某些帧转化为灰度图,建立以混合高斯分布为基础的统计模型,并结合八邻域帧差法提取出运动目标的大致轮廓,然后利用自适应更新的高斯模型算法进行精确的减除,最后再进行形态学处理,从而使检测出的运动目标更加清晰完整。实验结果表明,该算法对含有低速运动物体、阴影较多的视频提取效果较好,具有很好的鲁棒性。

关键词:运动目标检测; 混合高斯模型; 八邻域帧差法; 形态学处理

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1006-2475.2019.07.006

A Moving Target Algorithm Based on Gaussian Mixture Model and Eight-neighbor FDM with Morphological Processing

YANG Shu-guo¹, HE Wen-jing¹, LIU Yin-ling¹, MA Zuo-lin¹, HU Shuai²

(1. School of Mathematics and Physics, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China;

2. School of Information Technology, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: For the extraction of the moving subjects in a video clip, this paper proposes a moving target detection algorithm based on improved Gaussian mixture model and eight-neighbor frame difference method. Firstly, some frames of a video are converted into grayscale images and a statistics model based on Gaussian mixture distribution is set up. Following up, the sketch of the moving part is acquired through eight-neighbor frame difference method. For a more precise subtraction, the Gaussian mixture model is added to the algorithm. Combining with morphological processing, a complete and precise foreground is extracted. Experimental results show that the proposed algorithm has better effect on videos with slow-moving objects and large shadow areas, compared to earlier algorithms, and it is robust in multiple occasions.

Key words: moving object detection; Gaussian mixture model; eight-neighbor frame difference method; morphological processing

0 引言

随着大数据时代的到来,数字视频的使用量以惊人的速度在增长,视频中运动目标的检测问题也得到越来越多的关注。在运动目标提取方面,由于视频分辨率、清晰度以及容量的不断增大,使得兼顾效率和质量的提取算法变得越来越有价值。

1999年,Stauffer等人^[1-2]提出了基于一帧图像灰

度的统计规律模型,即混合高斯分布模型的前景提取算法。该算法实现了对运动物体大致轮廓的初步提取,但由于提取质量和对阴影的处理不到位,国内外学者针对这两个问题进行了研究,对其算法进行了改进:王怡然^[3]对混合高斯模型中的参数进行调整,提高了建模速度,但不同的场景往往需要设置不同的参数值,所以该方法具有一定的局限性。华媛蕾等人^[4]提出了一种基于混合高斯模型的运动目标检测

收稿日期:2018-12-21; 修回日期:2019-04-29

基金项目:2015年山东省重点研发计划项目(2015GGX101020);山东省研究生教育创新计划项目(SDY16010);山东省教育科学“十二五”规划课题(YBS15014);2018年青岛科技大学校级大学生创新创业训练计划立项项目(201810426203)

作者简介:杨树国(1970-),男,山东曹县人,教授,博士,研究方向:数字图像处理,图像目标识别,E-mail: ysg_2005@163.com;和文静(1998-),女,山东菏泽人,本科生,研究方向:数字图像处理,图像目标识别,E-mail: 2215341908@qq.com;刘银玲(1998-),女,山东东明人,本科生,研究方向:数字图像处理,图像目标识别,E-mail: 1727140461@qq.com;马琢麟(1998-),男,山东莱芜人,本科生,研究方向:数字图像处理,图像目标识别,E-mail: maxatherley1998@gmail.com;胡帅(1998-),男,山东菏泽人,本科生,研究方向:数字图像处理,图像目标识别,E-mail: 747101358@qq.com。

的改进算法,该算法通过将混合高斯模型与改进帧差法进行融合,在适应性、实时性等方面有了很大的提升,但对阴影的处理能力和算法的效率有待提高。王奎奎、卢章平等^[5-9]通过将背景减除法和帧差法结合,解决了鬼影和拖影问题,但仍然有空洞和少量噪声。付丽云等人^[10-11]将背景差分得到的图像和三帧差法得到的图像进行与运算,克服了可变光照和水下噪声的影响,但提取出的运动目标轮廓不完整且有片状噪声存在,对下一步的目标追踪具有一定的干扰。黄大卫等人^[12]提出一种基于分块模型更新的单高斯背景建模方法,降低了算法的复杂性,但对动态背景的提取效果并不理想。吴晶鑫等人^[13]提出了一种基于自适应特征加权的前景目标提取算法,对前景目标的位置定位较准确,但提取出的目标轮廓欠清晰。胡宗进等人^[14]提出了一种自适应阈值的前景提取算法,利用图像分割对植株位置进行提取,计算量较小,但适用范围也较小。李健裴等人^[15]提出了一种基于Vibe算法的视频前景目标提取方法,此方法计算量较小,提取出的前景噪声点较少,但提取出的目标不完整。雷瀚清等人^[16]提出了一种基于分段加权加滑动平均背景建模的前景提取方法,其提取的目标较完整,但其目标的轮廓相对不清晰。张国家等人^[17]提出一种将辅助背景滤波与色彩相似度检测相结合的前景有效提取算法,此算法适用于色彩对比明显的场景,适用范围较小。于江江等人^[18]提出了一种改进的帧差法与场景判定方法,但在场景判断时需要根据不同场景不断调试参数,因而也具有局限性。

针对原始高斯模型和现有的视频运动目标算法的缺陷,本文提出一种混合高斯模型与八邻域帧差法相融合的运动目标提取算法,该算法首先选定视频的某些帧,并将其转化为灰度图像,结合八邻域帧差法,对灰度图像建立混合高斯统计模型,并进行形态学处理,然后利用OpenCV进行实现。实验结果表明,本文算法较上述方法提取的运动目标完整、噪声少、轮廓清晰,正确性和鲁棒性等有较大提高。

1 算法框架

由于利用传统的混合高斯模型检测出的目标轮廓不清晰,而八邻域帧差法恰恰能弥补此不足,因此首先将混合高斯模型与八邻域帧差法进行融合,对视频进行目标提取,然后再利用形态学将提取的结果进行处理,最后得到运动目标。具体步骤如下:

1) 对输入视频的每一帧图像进行预处理^[19]。

2) 在混合高斯模型初期运用八邻域帧差法分离出相邻2帧图像变化区域的背景显露区和运动目标区。

3) 将检测到的前景中不相关的形状,如噪声点等,运用形态学来进行处理,减少噪声点,使提取出的运动目标更精准。

基于形态学的高斯模型和八邻域帧差法混合运动目标检测算法流程如图1所示。

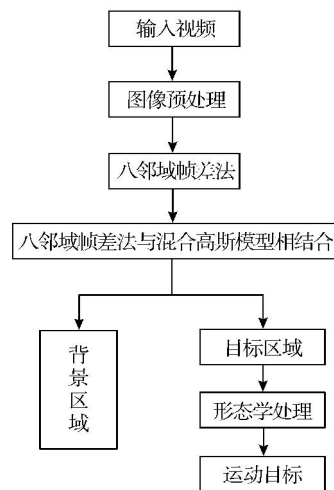


图1 本文算法流程图

2 混合高斯模型

选取一段视频,先获取背景模型,再将当前帧像素与背景模型作差,若差值小于或等于设定的阈值,则认为该像素属于背景区域,否则属于运动区域。

将视频帧转化为灰度图,然后对某帧的像素点 I_t 建立 K 个高斯模型, t 时刻 I_t 的概率密度函数由 K 个混合高斯模型的概率密度函数的加权和来表示,像素点 I_t 在时刻 t 的观察值属于背景区域的概率^[20]为:

$$P(I_t) = \sum_{i=1}^K \omega_{i,t} \eta(I_t, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (1)$$

其中: K 为高斯模型的个数; $\omega_{i,t}$ 为高斯模型权重,且 $\sum_{i=1}^K \omega_{i,t} = 1$; $\mu_{i,t}$ 为第 i 个高斯分布的均值; $\Sigma_{i,t}$ 为协方差矩阵,假设各像素点的RGB观测值相互独立,则 $\Sigma_{i,t} = \sigma_{i,t}^2$; $\eta(I_t, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t})$ 为 t 时刻的第 i 个高斯分布。

混合高斯建模法^[21]概括为以下步骤:

1) 模型匹配。

若某帧的各像素点 I_t 满足下式,则称之为与存在的高斯分布模型匹配:

$$|I_t - \mu_{i,t}| \leq 5\sigma_{i,t-1} \quad (2)$$

2) 参数更新。

对与 I_t 相匹配的高斯分布的权值、均值和方差利用下式进行更新:

$$\omega_{i,t} = (1 - \alpha) \omega_{i,t-1} + \alpha \quad (3)$$

$$\mu_{i,t} = (1 - \rho) \mu_{i,t-1} + \rho I_t \quad (4)$$

$$\sigma_{i,t}^2 = (1 - \rho) \sigma_{i,t-1}^2 + \rho (I_t - \mu_{i,t})^2 \quad (5)$$

其中, α 为学习率且 $0 \leq \alpha \leq 1$, ρ 为参数学习率且 $\rho = \alpha / \omega_{i,t}$, t 为视频流过的帧数。

其他高斯分布的均值、方差不变,权值根据 $\omega_{i,t} = (1 - \alpha) \omega_{i,t-1}$ 来计算。

若没有高斯分布和 I_t 相匹配,则权值最小的高斯分布模型中的参数被更新为:均值为 I_t , 标准差为 σ_0 , 权值为 $\omega_{i,t} = (1 - \alpha) \omega_{i,t-1} + \alpha$; 其他高斯分布的权值为 $\omega_{i,t} = (1 - \alpha) \omega_{i,t-1}$ 。对参数完成更新后的各高斯分布的权重向量进行归一化处理。

3) 生成背景分布。

参数更新后,将各高斯分布按优先级 $\omega_{i,t}/\sigma_{i,t}$ 从大到小排序,高斯分布优先级越高,那么它是背景分布的可能性就越大。若前 B 个高斯分布权值之和大于阈值 T , 则前 B 个高斯分布为背景分布,其他分布为前景分布,即前 B 个高斯分布作为背景像素的最佳描述为:

$$B = \arg \min_b (\sum_{k=1}^b \omega_k > T), \quad 0.5 < T < 1 \quad (6)$$

4) 前景检测。

根据高斯分布建立的背景图模型,按照优先级次序将像素值与上述前 B 个高斯分布进行逐一匹配,如果此像素值与其中任意一个高斯分布相匹配,则该像素点为背景点,否则为前景点,进而完成运动目标的检测。

利用混合高斯模型进行视频运动目标提取方法的流程如图 2 所示。

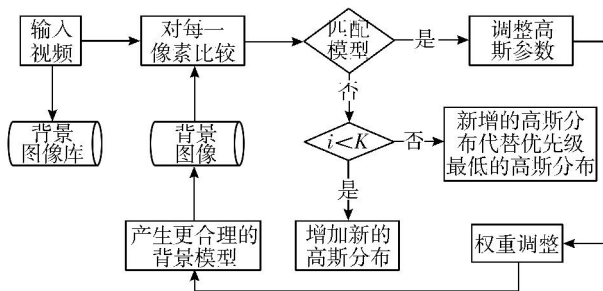


图 2 混合高斯模型进行视频运动目标提取方法

3 高斯模型和八邻域帧差法混合算法

通过对传统的高斯模型进行分析发现,传统的混合高斯模型检测出的目标轮廓不清晰,而帧差法恰恰能弥补此不足。将混合高斯模型和帧差法进行融合,对二帧差法进行八邻域操作;在混合高斯模型初期运用八邻域帧差法分离出相邻 2 帧变化区域的背景显露区和运动目标区。

将八邻域帧差法和混合高斯模型融合,具体过程如下式^[4]:

$$\eta_i(x,y) = \begin{cases} A_c, & D_i(x,y) > T_1 \cap \sum_i(x,y) > T_2 \\ A_{bg}, & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

其中: A_c 为相邻 2 帧间发生变化的区域; A_{bg} 为背景区

域; T_1 是防止当前帧的背景被判为运动目标而设的阈值; T_2 为二阶差分图像八邻域和的阈值; $D_i(x,y) = |f_i(x,y) - f_{i-1}(x,y)|$ 为二帧差法的公式; $\sum_i(x,y)$ 的计算如下所示:

$$\begin{aligned} \sum_i(x,y) = & D_i(x-1,y+1) + D_i(x,y+1) + \\ & D_i(x+1,y+1) + D_i(x-1,y) + D_i(x+1,y) + \\ & D_i(x-1,y-1) + D_i(x,y-1) + D_i(x+1,y-1) \end{aligned} \quad (8)$$

对区分出来的运动变化区域,按照优先级从大到小排列的前 B 个高斯分布进行匹配:

$$\begin{cases} |I_i(x,y) - I_{i-1}(x,y)| < \lambda \sigma_{i,t-1}, & I_i(x,y) \in A_u \\ |I_i(x,y) - I_{i-1}(x,y)| \geq \lambda \sigma_{i,t-1}, & I_i(x,y) \in A_m \end{cases} \quad (9)$$

其中: A_u 为运动目标在前一帧所覆盖的区域,即背景显露区; A_m 是运动目标在本帧所覆盖的区域,即运动目标区。

4 数学形态学

经过半个世纪的发展,数学形态学已成为了一种新型的图像处理方法和理论,其基本思想是用具有一定形态的结构元素去量度和提取图像中的对应形状以达到对图像分析和识别的目的。它所定义的概念、变换和算法以集合代数为基础,用集合论方法描述图像的基本特征,其基本运算包括膨胀、腐蚀、开运算、闭运算等,利用这些运算可对图像进行处理,如图像分割、边缘检测、图像降噪、图像增强等^[22]。

4.1 腐蚀与膨胀

膨胀与腐蚀是形态学处理的 2 个基本运算,大多数形态学运算都可以借助这 2 个基本运算来定义。

1) 膨胀。使物体的边界向外扩张,从而达到填补空洞的效果。图 3 为膨胀示意图,膨胀运算如图 4 所示。

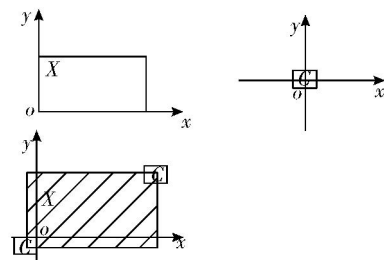


图 3 膨胀示意图

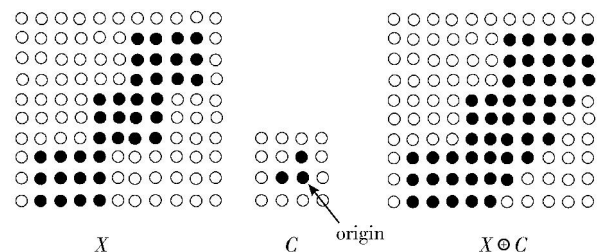


图 4 膨胀运算

假定 A 和 C 是 Z^2 中的集合, A 被 C 膨胀, 用 $A \oplus C$ 表示, 并定义为:

$$A \oplus C = \{z | (\hat{C})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (10)$$

2) 腐蚀。将灰度值小的区域增强扩展, 从而去除亮的噪点。图 5 为腐蚀示意图, 腐蚀运算如图 6 所示。

使用 C 对 A 进行腐蚀, 用 $A \ominus C$ 表示, 并定义为:

$$A \ominus C = \{z | (C)_z \subseteq A\} \quad (11)$$

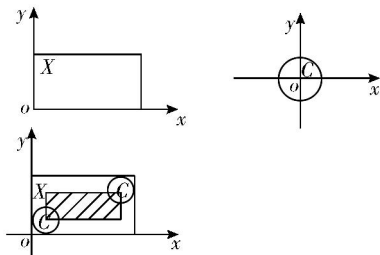


图 5 腐蚀示意图

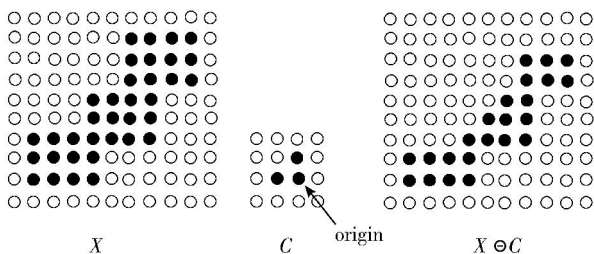


图 6 腐蚀运算

4.2 开运算与闭运算

1) 先腐蚀后膨胀的过程称为开运算^[23], 可用来消除小物体, 在纤细点处分离物体, 平滑较大物体的边界, 同时并不明显改变其面积。使用结构元素 C 对集合 A 进行开运算表示为 $A \circ C$, 定义为:

$$A \circ C = (A \ominus C) \oplus C \quad (12)$$

2) 先膨胀后腐蚀的过程称为闭运算, 用来填充物体内部细小空洞、连接邻近物体、平滑其边界, 同时并不明显改变其面积。

使用结构元素 C 对集合 A 的闭运算表示为 $A \bullet$

C , 定义如下:

$$A \bullet C = (A \oplus C) \ominus C \quad (13)$$

根据不同的情况选取不同的运算进而提取出更好的运动目标。

由于检测到的前景中会有许多不相关的形状, 如噪声点等, 所以本文要运用开运算来进行处理, 去掉噪声。

5 实验及结果分析

本文实验采用 Microsoft Visual Studio Community 2016 编程环境, 编程语言为 C++ 和 MATLAB R2016a, 调用 OpenCV 计算机视觉库, 运行环境简单方便。

本文在背景模型建立时选取了 4 个高斯分布, 即 $K=4$; 初始 4 个高斯分布的均值为 $0 \sim 1$ 之间的随机小数, 标准差为 6; 在参数更新时, 学习率设为 0.01; 权值最小的高斯分布模型中的标准差被更新为 6; 生成背景分布时阈值 T 设为 0.75; 八邻域帧差法和混合高斯模型融合时, 为防止当前帧的背景被判为运动目标而设的阈值 T_1 为 0.01, 二阶差分图像八邻域和的阈值 T_2 设为 0.07。

本文的各个参数取值如表 1 所示。

表 1 各参数取值

参数	符号	取值
高斯分布个数	K	4
学习率	α	0.01
权值最小的高斯分布被更新的标准差	σ_0	6
阈值	T	0.75
阈值	T_1	0.01
阈值	T_2	0.07

为了验证所提出的融合算法的有效性, 本文选取 5 个视频为实验对象, 然后对传统的混合高斯模型算法、八邻域帧差法和高斯混合模型融合算法、本文提出的算法进行比较。



(a) 原始帧 (b) 理想前景 (c) 传统高斯 (d) 融合算法 (e) 本文算法

图 7 3 种算法结果

视频1是飞机降落时的视频,其中飞机降落速度较为缓慢,周围环境干扰少,可以更好地对比3种算法提取出的运动目标的轮廓。视频2是一段高速公路的监控视频,车辆运行速度较快,周围环境干扰多,色彩复杂,可以更好地对比3种算法对复杂运动物体以及噪声的处理能力。视频3是一段市区道路的监控视频,色彩单调,周围有固定物体的遮挡,可以更好地对比3种算法在运动物体有遮挡的情况下的提取能力。视频4是一段室内场景视频,由于灯光的影响存在阴影的干扰,可以通过此视频对比3种方法对阴影的抗干扰效果。视频5是人行走于大海边的视频,此视频背景为动态背景,可用于对比3种算法在动态视频下的提取效果。使用3种算法对这5个视频进行前景提取,得到结果如图7所示:从上往下依次是视频1~视频5,从左往右依次是视频原始帧、理想的前景、原始的混合高斯建模法提取结果、八邻域帧差法混合算法提取结果和本文算法提取结果。

从运行结果的对比来看,传统的混合高斯模型算法、八邻域帧差法和高斯混合模型融合算法的结果大致相同,反光造成的噪声无法有效地去除,如视频3中车辆被栏杆遮挡的部分也无法提取出来,而本文算法则较好地消除了噪声,被静止物体遮挡部分的轮廓较清晰,且较好地解决了空洞问题,对比前2种算法的结果有了很大的改善。

对3种算法各进行6次实验得到前景运动目标的查准率和查全率。传统的混合高斯模型算法(方法1)、八邻域帧差法和高斯混合模型融合算法(方法2)、本文算法的查准率和查全率如表2所示。

表2 3种算法查准率和查全率

实验	查准率/%			查全率/%		
	方法1	方法2	本文方法	方法1	方法2	本文方法
1	44.42	59.45	81.01	74.66	67.46	75.55
2	44.06	53.30	64.12	65.76	63.31	89.92
3	71.92	84.49	88.08	65.64	58.76	69.32
4	75.61	76.21	77.42	82.43	79.25	83.78
5	54.03	55.52	64.12	87.07	83.11	89.92
6	31.45	38.00	48.35	74.05	73.99	76.51
平均值	53.58	61.16	70.52	74.94	70.98	80.83

在6个实验中,对于查准率,3种方法的优劣为本文方法最优、方法2次之、方法1最差。其中较为明显的是实验1,本文方法的查准率比方法2提高了21.56%,比方法1提高了36.59%;在其他5个实验比较中,本文方法最少比方法2提高了1.21%,最少比方法1提高了1.81%。综合而言,根据平均查准率,本文方法比方法2提高了9.36%,比方法1提高

了16.94%。

对于查全率,本文方法最优、方法1次之、方法2最差,其中较为明显的是实验2,本文方法的查全率比方法2提高了26.61%,比方法1提高了24.16%;在其他5个实验比较中,本文方法最少比方法2提高了2.52%,最少比方法1提高了2.46%。综合而言,根据平均查全率,本文方法比方法2提高了9.85%,比方法1提高了5.9%。

通过一系列实验可以看出,本文算法能够准确地提取运动物体的形状,并且在存在复杂光影的环境中可以克服光影突变,消除阴影对提取结果造成的影响,在运动目标的检测查准率和查全率以及降噪方面比传统的混合高斯模型提取算法有了很大的提升。通过OpenCV与MATLAB的结合,大大提升了算法的运行效率,降低了算法运算量和内存占用,提高了算法的准确性和时效性。

6 结束语

本文基于混合高斯模型,融合数学形态学和八邻域帧差法,提出了新的运动目标提取算法,该算法在高斯模型建立时,使用了八邻域帧差法,可高效率地分离出相邻2帧变化区域的背景显露区和运动目标区。融入数学形态学后,本文算法有效地抑制了噪声,可以较完整地从中提取出运动目标。本文利用OpenCV读取大量视频并进行逐帧对比,提高了运算速度。实验结果表明,本文算法能够在各种复杂因素以及光影条件下有效且精准地对运动目标进行检测和提取,可用于人脸识别、目标跟踪等方面。

参考文献:

- [1] STAUFFER C, GRIMSON W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [C] // Proceedings of the 1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1999, 2:246-252.
- [2] STAUFFER C, GRIMSON W E L. Learning patterns of activity using real-time tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 747-757.
- [3] 王怡然. 基于高斯背景模型的运动目标检测与跟踪 [D]. 西安:西安电子科技大学, 2012.
- [4] 华媛蕾, 刘万军. 改进混合高斯模型的运动目标检测算法 [J]. 计算机应用, 2014, 34(2): 580-584.
- [5] 王奎奎, 玉振明. 融合背景减法和帧差法的运动目标检测 [J]. 电视技术, 2015, 39(24): 94-99.
- [6] 卢章平, 孔德飞, 李小蕾, 等. 背景差分与三帧差分结合的运动目标检测算法 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(12): 3315-3318. (下转第42页)

- [5] 汪志亮,高健,赵伟明. 面向 OLED 屏像素缺陷检测的新方法 [J]. 计算机工程与应用, 2012,48(26):177-180.
- [6] 欧阳韬. 基于机器视觉的 OLED 屏混色缺陷检测算法 [J]. 现代计算机(专业版), 2017(29):56-60.
- [7] TANIGUCHI K, UETA K, ONISHI H, et al. A method of mura intensity quantification using multi-level sliced images [C] // Proceedings of the 8th International Conference on Quality Control by Artificial Vision. 2007, DOI: 10.1117/12.736735.
- [8] SONG Y C, PARK K H. Split bregman method-based background extraction for blob-mura defect detection in thin film transistor-liquid crystal display image [J]. Optical Review, 2011,18(2):253-255.
- [9] KIM S H, KANG T G, JEONG D H. Region mura detection using efficient high pass filtering based on fast average operation [J]. IFAC Proceedings Volumes, 2008,41(2):8190-8195.
- [10] CHEN S L, CHOU S T. TFT-LCD mura defect detection using wavelet and cosine transforms [J]. Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing, 2008,2(3):441-453.
- [11] YUN J W, GU H, KIM D H, et al. Automatic mura inspection using the principal component analysis for the TFT-LCD panel [C] // Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics. 2014:109-110.
- [12] HANZAEI S H, AFSHAR A, BARAZANDEH F. Automatic detection and classification of the ceramic tiles' surface defects [J]. Pattern Recognition, 2017,66:174-189.
- [13] BI X, ZHUANG C G, DING H. A new mura defect inspection way for TFT-LCD using level set method [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2009,16(4):311-314.
- [14] JIAN C X, GAO J, AO Y H. Automatic surface defect detection for mobile phone screen glass based on machine vision [J]. Applied Soft Computing, 2017,52:348-358.
- [15] ANURADHA K, Uma K P. Detection of texture defects in tiles using imaging techniques [J]. Digital Image Processing, 2018,10(3):37-39.
- [16] 王兴伟,沈兰荪,卫保国,等. 基于改进的 k-均值聚类 and 数学形态学的彩色眼科图像病灶分割 [J]. 中国生物医学工程学报, 2002,21(5):443-448.
- [17] CHEN S F, LAI C C. The defect classification of TFT-LCD array photolithography process via using back-propagation neural network [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013,378:340-345.
- [18] LIU Y H, WANG C K, TING Y, et al. In-TFT-array-process micro defect inspection using nonlinear principal component analysis [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2009,10(10):4498-4514.
- [19] YE R F, CHANG M, PAN C S, et al. High-resolution optical inspection system for fast detection and classification of surface defects [J]. International Journal of Optomechanics, 2018,12(1):1-10.
- [20] 张弘强,王春红. 用学习矢量量化(LVQ)神经网络进行教师评估 [J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2013,29(1):16-18.
- [21] 黄志杰,王伊依,王青. 基于血管内超声图像的心血管动脉粥样硬化斑块组织自动定征的研究 [J]. 计算机科学, 2018,45(5):260-265.
- [22] 左文明. 连通区域提取算法研究 [J]. 计算机应用与软件, 2006,23(1):97-98.
- [23] 王文豪,周泓,严云洋. 一种基于连通区域的轮廓提取方法 [J]. 计算机工程与科学, 2011,33(6):67-71.

(上接第 36 页)

- [7] 张应辉,刘养硕. 基于帧差法和背景差法的运动目标检测 [J]. 计算机技术与发展, 2017,27(2):25-28.
- [8] 高远,路杨,李佩琛. 一种基于三帧差分法和混合高斯模型的运动目标检测方法 [J]. 科技创新与应用, 2017(31):21-23.
- [9] 李晓瑜,马大中,付英杰. 基于三帧差分混合高斯背景模型运动目标检测 [J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2018,36(4):414-422.
- [10] 付丽云,王文爽. 基于背景差分和三帧差分的水下运动目标检测 [J]. 电脑与信息技术, 2018,26(2):37-40.
- [11] 张晓伟. 视频中运动目标的检测与跟踪算法研究及应用 [D]. 济南:山东师范大学, 2013.
- [12] 黄大卫,胡文翔,吴小培,等. 改进单高斯模型的视频前景提取与破碎目标合并算法 [J]. 信号处理, 2015,31(3):299-307.
- [13] 吴晶鑫,仲梁维. 基于 MATLAB 的动态前景目标特征提取与运动跟踪 [J]. 软件导刊, 2019,18(4):16-20.
- [14] 胡宗进,范文强,于光玉,等. 基于 OpenCV 的自适应阈值图像前景提取 [J]. 光电技术应用, 2017,32(1):56-59.
- [15] 李健斐,王倩蓉,王巨,等. 基于 Vibe 算法的视频前景目标提取 [J]. 数学的实践与认识, 2018,48(15):210-219.
- [16] 雷瀚清,李豪,滕国伟. 基于监控视频的前景目标提取 [J]. 电子测量技术, 2018,41(7):64-68.
- [17] 张国家,左敦稳,黎向锋,等. 基于色彩相似度的前景有效提取算法研究 [J]. 机械制造与自动化, 2014(3):20-23.
- [18] 于江江,夏锋. 基于监控视频的前景目标提取 [J]. 工业控制计算机, 2018,31(3):53-54.
- [19] 王欢. 视频图像序列中运动目标检测算法研究 [D]. 杭州:中国计量学院, 2012.
- [20] 李旭健,张丛静. 一种基于改进的混合高斯模型的运动目标检测算法 [J]. 软件导刊, 2016,15(8):10-12.
- [21] 李百惠,杨庚. 混合高斯模型的自适应前景提取 [J]. 中国图象图形学报, 2013,18(12):1620-1627.
- [22] JAIN A K. 数字图像处理基础 [M]. 韩博,徐枫,译. 北京:清华大学出版社, 2006:307-309.
- [23] 李志忠. 基于背景减除法的运动目标检测算法研究 [D]. 天津:中国民航大学, 2015.