

基于 SILTP 纹理信息的运动目标检测算法

杨国亮 周丹 张进辉

(江西理工大学电气工程与自动化学院 赣州 341000)

摘要 精确的运动目标检测是许多视频分析技术的前提。提出了一种基于背景减除的运动目标检测算法,该算法利用尺度不变三值模式(SILTP)进行纹理特征变换,并对视频序列的第一帧进行快速的背景模型初始化。对于背景模型的建立,直接采用 SILTP 纹理特征值,而不是计算其像素分布。最后结合像素的空间信息,采用随机替代的策略来更新背景模型。在 wallflower 测试集上的测试结果表明,与其他算法相比,该算法在满足实时性的基础上具有很好的检测效果,特别是在阴影的去除及光照的突变上有很好的鲁棒性。

关键词 运动目标检测,背景减除,尺度不变三值模式,纹理,背景模型

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A

Moving Object Detection Algorithm Using SILTP Texture Information

YANG Guo-liang ZHOU Dan ZHANG Jin-hui

(School of Electrical Engineering and Automation, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract Accurate detection of the moving object is the pre-step of many video analysis technology. This paper put forward a moving object detection algorithm based on background subtraction, which transforms texture feature using a scale variant local ternary pattern operation(SILTP), and initializes the background model by using the composed texture value directly for the first frame of video sequences, rather than computing the distribution, finally updates the background model combining randomly substitute strategy with space information of the pixels. The testing results on the wallflower dataset show that this algorithm has better detection results compared with the other ones, not only satisfies for real-time, but also has a strong robustness in shadow suppression and illumination variation.

Keywords Moving object detection, Background subtraction, Scale invariant local pattern(SILTP), Texture, Background model

1 引言

随着计算机视觉、人工智能和图像处理等研究领域的火热发展,目标检测技术作为其基本处理部分,已经成为一个非常活跃的研究方向,也是实现目标行为理解及更高级任务的基础,实现运动目标的准确快速检测具有重要的实际意义和应用价值。常用的方法有光流法^[1]、帧差法和背景减除法等3种:光流法计算复杂,抗噪性能差,一般不满足全帧视频流的实时性;帧差法实时性好,但是检测目标位置不精确,不能提取出较完整的运动目标,对物体运动速度的要求比较高;背景减除法相对于光流法和帧差法具有运算速度快、定位准确等特点,但是受场景光照变化、背景扰动等因素的影响较大。所以背景需要实时更新,这是背景减除算法能否正确检测的关键。

Wren C R 等人提出了一种用单高斯模型对像素过程进行背景建模的方法^[2],该方法基于噪声建模,对室内环境能够取得很好的效果,由于只利用一个高斯过程进行建模,缺乏随

机适应性,在室外环境效果不是很好。对此,Stauffer C 等人根据在室外环境下每个像素点的动态分布为多峰的(Multimodal),提出了混合高斯模型(MOG)的建模方法^[3],该方法能够较好地适应多峰场景及光照的变化,成为比较经典的背景建模方法之一。混合高斯虽然解决了光照渐变、背景运动等问题,但是对于背景快速变化及缓慢运动的目标会存在漏检及误检。因此,Elgammal A 等人提出一种非参数的核密度估计(KDE)方法^[4],该方法不假设数据服从何种分布,直接根据数据来推测分布,该方法的优点是最大优点是对更新速率不敏感。

然而,以上方法大部分是对单个像素在时间域上的统计建模,忽略了邻域像素间的空间分布相关性,导致了背景模型不能准确地刻画运动物体的本质属性。近年来,局部二值模式(Local binary pattern, LBP)的特征提取方法^[4]及其改进算法在纹理分析和人脸识别应用中取得了显著的成果。由于LBP方法原理相对简单,计算复杂度低,又具有旋转不变性和灰度不变性等显著优点,因而该方法又被广泛应用于图像匹配、行人和汽车目标的检测与跟踪、生物和医学图像分析等领域。但是LBP算子没能很好地解决仿射变化中的不变性

到稿日期:2013-03-21 返修日期:2013-07-21

杨国亮(1973—),男,博士,副教授,主要研究方向为模式识别与图像处理、智能控制, E-mail: ygliang30@126.com;周丹(1988—),女,硕士,主要研究方向为模式识别与图像处理;张进辉(1987—),男,硕士,主要研究方向为模式识别与图像处理。

问题。

本文针对解决仿射变化的不变性问题,运用尺度不变局部三值模式(SILTP, Scale Invariant Local Ternary Pattern)进行特征提取,利用像素的时间和空间特性,提出一种快速运动目标检测算法。针对多个不同场景进行了结果测试并对结果进行了定量分析。

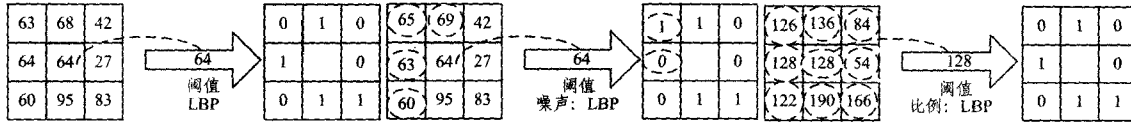


图1 LBP算子的编码过程

然而算法仍对噪声敏感,并且对纹理的描述易受到光照等因素的影响而发生改变。例如,当邻域像素值很相近时,LBP算子对区域噪声没有很好的鲁棒性,就会出现误判,如图1(中)所示。对于处理局部噪声,Tan等^[6]提出局部三值模式(Local ternary patterns, LTP)用于人脸识别,该方法引入 t 的区间,即当邻域值在中心值的区间里时编码值为0;当邻域值比中心值的区间大时编码值为1;当邻域值比中心值的区间小时编码值为-1。其编码图如图2所示。尽管LTP在均匀区域比LBP具有更强的判别能力,且对噪声、光

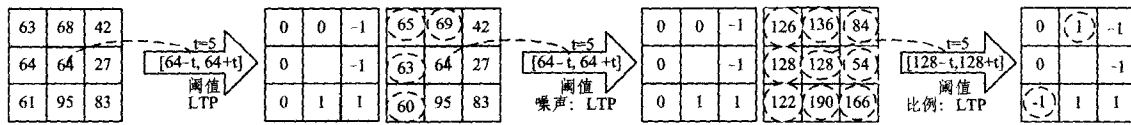


图2 LTP算子的编码过程

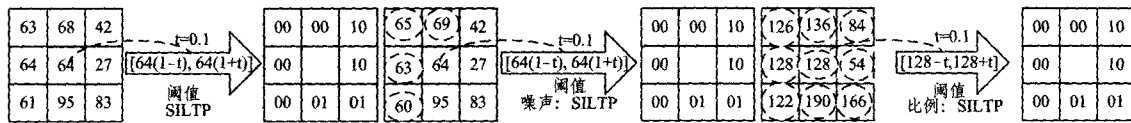


图3 SILTP算子的编码过程

假设一幅图像的像素点的位置为 (x_c, y_c) , SILTP编码方式如式(1)所示。

$$SILTP_{N,R}^t(x_c, y_c) = \bigoplus_{k=0}^{N-1} s_r(I_c, I_k) \quad (1)$$

式中, I_c 是图像中心像素点的灰度值, I_k 是半径为 R 区域的 N 邻域所对应的像素点的灰度值, \bigoplus 是将所有邻域的二进制值连接成字符串, τ 为变化的阈值范围。 $s_r(I_c, I_k)$ 分段函数如式(2)所示。

$$s_r(I_c, I_k) = \begin{cases} 01, & I_k > (1+\tau)I_c \\ 10, & I_k < (1-\tau)I_c \\ 00, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

SILTP算子的优势依赖于以下3点。首先,对于每个邻域来说,仅仅比LBP多一次比较,从而计算效率很高;其次,该算子对区域范围噪声具有很好的鲁棒性,特别是当检测区域更暗或者包含更多的噪声的情况下,SILTP比LBP和LTP更能适应这种变化,得到更好的检测结果;最后,尺度不变性使SILTP算子对亮度变化具有更强鲁棒性,即使光线突然从暗到亮变化,SILTP特征也是不变的。另外,当有弱阴影覆盖背景区域时,该算子也能很好地进行识别。因为弱阴影保留了背景较暗的纹理信息而不是局部背景区域的比例因子所表示的纹理信息。

2 尺度不变局部三值模式

局部二值模式(Local binary pattern, LBP)^[5]是一种灰度范围内的纹理度量,因具有多尺度特征、旋转不变性及低复杂度而得到了广泛应用,为较好的区域算子。该算子的编码过程如图1(左)所示。

照变化鲁棒等,但是在图像的多尺度变化和局部遮挡问题的处理上还有一定的局限性。假如对所有局部像素值乘以某个整数(例如2),所得的LTP算子就不能很准确地进行判断,会导致比较结果不同于原始比较,如图2(右)所示。考虑算子对尺度变化的适应性,Shengcai L等人提出运用尺度不变局部三值模式(Scale Invariant Local Ternary Pattern, SILTP)^[7]减除复杂场景的背景。SILTP算子的编码过程如图3所示。

3 运动目标检测算法

基于SILTP算子,本文提出一种快速运动目标检测算法,背景模型的建立启发自Olivier B等人提出的一种视觉背景提取算法(ViBe, Visual Background extractor)^[8,9]。主要利用了随机选择机制和邻域传播机制来建立和更新背景模型,使时域与空域相结合,达到快速检测的效果。下面将从背景模型初始化、目标检测及模型更新3个方面详细介绍本文算法的思想。

3.1 背景模型的初始化

大部分经典的方法都需要利用很多帧初始化背景模型,对于一开始就存在运动目标的场景来说,由这种模型初始化方式建立的模型并不理想。这里提出一种利用单帧图像进行初始化的方法,其利用图像像素邻域分布相关性,并采用随机抽取机制来建立模型中的多个样本。

首先,取视频序列的第一帧图像,进行灰度变换。根据前面介绍的SILTP算子,计算每个像素点的SILTP特征。像素点 x 的SILTP值用 $SM(x)$ 表示。这里采用4邻域,逆时针计算 $SM(x)$ 。

然后,在像素点 x 的8邻域中随机抽取 N 次得到该像素

背景模型中的 N 个样本,得到像素点 x 的背景模型为 $M(x) = \{SM_1, SM_2, \dots, SM_N\}$ 。

3.2 运动目标检测

对于运动目标检测来说,大多数传统和主流的背景减除算法都依赖于概率密度函数和参数统计,但是参数统计的意义很少被讨论或者直接被忽略。事实上,只要很好地分割出目标,就没有必要计算概率密度函数。因为概率密度的估计是全局过程,且对噪声很敏感。对所有的估计过程来说,选择有代表性的样本是最重要的。如果把背景减除看成是分类问题,那么考虑最近邻信息对新像素分类,就可以避免噪声的影响。受上述思想的启发,本文对每个背景模型维护一组样本,而不是一个确切的分布模型。然后计算待检测点与模型中每个样本的匹配度,若匹配度达到一定的阈值 Th ,则为背景;否则,为前景。

定义每个待检测点 x 的 $S(x)$ 与模型样本 $M(x)$ 的匹配度 $C(x)$,其数学表达式为:

$$C(x) = \{C_1(x), C_2(x), \dots, C_N(x)\} \quad (3)$$

式中, $C_n(x)$ 为单个匹配度,即与背景模型的一个样本的匹配程度,结果为 0 表示对应位异或结果为 1 的位数,见式(4)(例如 $S(x) = 00100110$)。判断待测点 x 是否为前景目标的准则可以通过以下几个公式表述。

$$C_n(x) = S(x) \oplus SM_n(x) \quad (4)$$

$$N_n(x) = \begin{cases} 1, & C_n(x) < R \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

$$Sum(x) = \sum_{n=1}^N N_n(x) \quad (6)$$

$$f(x) = \begin{cases} \text{背景}, & Sum(x) < Th \\ \text{前景}, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

上述式(4)~式(6)中 $n=1, 2, \dots, N$, $N_n(x)$ 表示匹配度小于 R 的一个样本, $Sum(x)$ 表示匹配度小于 R 的所有样本的总数, $f(x)$ 为待测点 x 的最终分类结果。

经过多次实验分析验证,得到本文算法的最佳参数 $R=2, Th=2$ 。

3.3 模型更新

视频序列体现的是一个时间性,随着时间的推移,背景中会发生一些变化,如树叶的摇动、光照的变化甚至是背景的动态移动。假如背景模型不及时更新,就会导致检测的结果会有大量的噪声以及误检或漏检。为了满足上述背景的实时变化,背景模型必须实时更新,并且要有较强的抗干扰能力。

目前大部分的算法中背景模型的更新机制存在两种:选择性更新和盲目更新。选择性更新是指只选择背景像素对背景模型进行更新而忽略前景像素,在这种情况下,易导致“死锁”;盲目更新是指既选择前景像素又选择背景像素对背景模型进行更新,在这种情况下,易导致“空洞”。本文对选择性更新和盲目更新进行了结合,并利用邻域像素具有相似分布的特征^[9],建立一种新的背景模型更新方法,该更新方法包含三大主要思想:无记忆更新、随机抽样更新和邻域空间传播性。具体实现如下:

(1)对判定为背景的点 x ,设定更新频率为 Φ ,则有 $\frac{1}{\Phi}$ 的概率更新其背景模型。将 $S(x)$ 按 $\frac{1}{\Phi}$ 的概率替换从模型中随机抽取的一个样本。背景模型是不包含前景点的。为了防止

死锁区域的形成,本文利用邻域像素分布相似特性,解决被前景覆盖的背景像素点的恢复问题,即更新该像素点的邻域的背景模型。再次按照 $\frac{1}{\Phi}$ 的概率随机选取 x 的 8 邻域的一个像素点,将 $S(x)$ 替换该邻域背景模型中随机选取的 $SM_n(x)$,更新选定邻域的背景模型。

(2)ViBe 算法中提到通过随机更新检测点邻域的背景模型,可以恢复被前景覆盖的背景点,但是实际上这种恢复是有一定概率的,且在短时间内所有被覆盖点不能很好地恢复。对此,本文提出类似于盲目更新的概率随机更新机制。对判定为前景的点,设定更新频率为 ω ,即该点有 $\frac{1}{\omega}$ 的概率替代随机选取的 N 个样本中的一个 $SM_n(x)$ 。相对于 Φ, ω 更大。换句话说,前景点对背景模型的影响小于背景点,但是可以在一定范围内很好地恢复被覆盖的背景点。

4 实验结果及分析

4.1 实验条件及测试数据

(1)实验条件

本文提出的算法仿真的软件环境为:Windows XP SP3 系统,Microsoft Visual Studio 2010 开发平台,结合 IBM OpenCV2.3.1。硬件环境为:CPU 频率 2.93GHz,内存 2.0 GB。

(2)测试数据

迄今为止,仍然缺乏一个能够被学术界广泛认同的背景减除算法的测试数据集。考虑到 Toyama K 等人提出的 Wallflower^[10]数据集的权威性,本文的测试数据采用 Wallflower 测试数据集。Wallflower 包含 7 个不同的场景,分别对应了背景减除算法需要应对的问题:运动的背景(Moved Object)、光照渐变(Time of Day)、光照突变(Light of Switch)、目标伪装(Camouflage)、摇动的树(Wave Trees)、自举(Bootstrapping)、前景空洞(Foreground Aperture)。

4.2 实验结果及分析

为了具有更好的对比性,本文在 Wallflower 的 7 种场景下基于上述实验条件做了 6 种算法的对比结果,结果如图 4 所示。其中第 1 行为每个测试序列的测试帧,第 2 行为 Ground Truth(GT),第 3~8 分别为本文算法(SIBE)、ViBe 算法^[9]、KaewTraKulPong P 等提出的一种改进混合高斯算法^[11](MOG)、Zivkovic Z 改进的混合高斯算法(MOG-ZZ)^[12]、Heikkila M 等提出的基于 LBP 纹理的算法(LBP)^[13]及 codebook 算法^[14]的实验结果(实验结果全部用同样的方法进行后处理)。各种算法的主要参数如表 1 所列。

表 1 6 种算法的主要参数

算法	主要参数
SIBE	模型样本数 $N=20, R=2, Th=2, \Phi=16, \omega=80$
VIBE	模型样本数 $N=20$, 球体半径 $R=20$, 更新因子为 16, 集合的势 $\# \min=2$
MOG	高斯分量数 $K=5$, 权值更新速率 $\alpha=0.01$, 背景比例 $T=0.7$
MOG-ZZ	更新速率 $\alpha=0.002$, 背景比例 $T=0.9$
LBP	$LBP_p, r=LBP_{p,2}$, 计算 LBP 直方图的区域半径 $R_{region}=9$, 直方图个数 $K=4$, 权值阈值 $T_B=0.8$, 直方图相似度阈值 $T_P=0.7$, 直方图更新速率 $\alpha_b=0.01$, 权值更新速率 $\alpha_w=0.01$
CodeBook	用于训练的帧数 $T=200$, YUV 空间



图4 6种算法实验结果

4.2.1 结果定性分析

(1)Camouflage 场景:该场景中,静态的前景目标遮住了动态的背景,要很好地处理这种场景就需要对背景模型进行更加精确的描述。对MOG算法来讲,由于高斯分量的个数为固定的,因此对于这种动态背景的建模能力就有一定的缺陷,从而导致了较多的漏检。由于本文算法的更新速率非常迅速,当前景目标在场景中不运动时,我们将会认为该目标会渐变为背景的一部分,从而导致一定的空洞。

(2)Bootstrap 场景:该场景中,模型在训练时就有运动目标,于是对模型训练需要的帧数应尽可能的少。由于本文算法的背景模型训练只需要一帧,且在这个场景下存在阴影,因此本文算法取得了较好的效果。

(3)Foreground Aperture 场景:该场景中,目标内部的不同位置的像素值基本上相等,当目标运动时,内部某个位置的像素值由于没有改变,将有可能被检测为背景,这将导致前景空洞。本文认为基于区域的背景建模方法也许能够解决该问题。

(4)Light Switch 场景:很多背景减除算法都无法解决光照突变引起的问题。当光照突变时,模型的更新速率应该足够快才能适应这种全局的快速的表观变化。但是,如果模型的更新速率太快,对缓慢运动的目标而言,将会导致更多的误检。本文算法由于采用一种对光照变化不敏感的纹理算子且更新速率比较快,因此取得了较好的效果。

(5)Moved Object 场景:一个目标既可以成为背景又可以成为前景,如该场景中的椅子,当人坐到椅子上时它应该是前景,当人离开时它应该是背景,所以这就需要模型的更新应该是选择性的更新,盲目的更新将导致 deadlock(死锁)。由实验可知,Vibe 和单层的 Codebook 算法都会导致死锁问题。

(6)Time of Day 场景:光照渐变是背景减除算法要面对的重要问题。要应对光照的渐变,模型就需要自适应更新。在单层的 CODEBOOK 算法中,由于模型的更新没有采用自适应,因此效果不是很理想,改进的双层 Codebook 算法^[16]能够解决这个问题以及上述的 Moved Object 问题。

(7)Wave Trees 场景:背景也许是摇摆不定的树,此时同一个像素位置也许有多个像素值,即背景具有多峰性。此时

背景模型就要对多峰的场景进行建模,基本上现在的背景减除算法都能够解决这个问题。所以对该场景的处理,本文测试的算法都具有较好的效果。

4.2.2 结果定量分析

对于不同算法,一般都要通过不同的标准值来检验算法的性能并与其他算法比较。一般主要利用召回率(Recall)和精确度(Precision)。数学表达式如下:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (8)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (9)$$

式中,TP为真正,TN为真负,FP为假正,FN为假负。

考虑到单纯的召回率或者精确度都不能很全面地检验某个算法的性能,因此提出调和平均值(F1)和相似性(Similarity)。数学表达式如下:

$$F1 = \frac{2 * Recall * Precision}{Recall + Precision} \quad (10)$$

$$Similarity = \frac{TP}{TP + FN + FP} \quad (11)$$

上述所有计算的值都是在[0,1]之间,并且数值越高,准确性越好。不同场景下根据不同算法得到的 F1 和 Similarity,如图5、图6所示。实验数据表明,在多种不同复杂多变的实际场景中,本文算法能更好地克服光照及噪声的影响,准确地提取出运动目标。最后,对整个算法的运算速度进行了测试,本文算法对上述 160 * 120 大小的视频处理帧率达到了 159fps,具有较好的实时性。

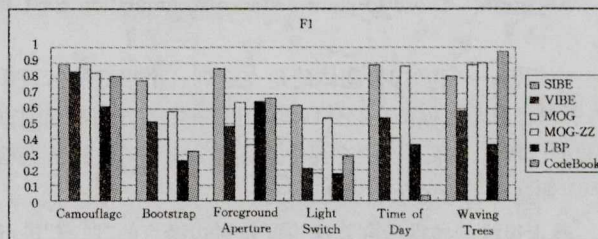


图5 不同场景不同算法得出的 F1

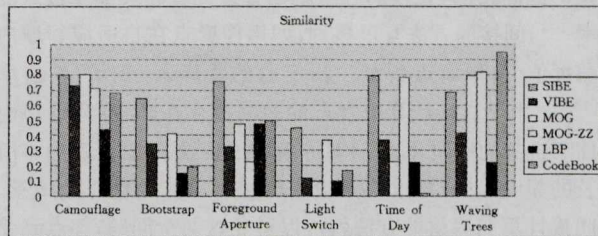


图6 不同场景不同算法得出的 Similarity

结束语 本文提出了一种快速运动目标检测算法,其利用了 SILTP 特征对亮度变化、阴影出现及尺度变化的强鲁棒性;且针对传统背景建模方法存在的不足,结合邻域像素相似性分布特征,提出一种快速的背景建模方法。只利用一帧对模型进行初始化,利用随机抽样的方式对背景模型进行更新,采用一种简单的判别机制对运动目标进行了较好的检测。将本文算法与 vibe、混合高斯等 5 种算法进行比较,实验结果表明,本文算法在满足实时性的基础上,对各种场景都有很好的检测效果,对阴影和光照变化有一定的鲁棒性。

(下转第 318 页)

重建的准确性。同时本文还考虑了噪声、模型误差、光学特性误差对算法重建质量的影响。实验表明,光学特性误差对重建结果的影响更大,噪声的影响最小。

参 考 文 献

- [1] Rudin M, Weissleder R. Molecular imaging in drug discovery and development[J]. *Nat. Rev. Drug Discovery*, 2003, 2: 123-131
- [2] Ntziachristos V, Ripoll J, Wang L V, et al. Looking and listening to light: the evolution of whole-body photonic imaging[J]. *Nat. Biotechnol.*, 2005, 23: 313-320
- [3] 刘晨彬,潘颖,张海石,等. 基于磁共振图像的脑瘤 MGMT 表达状况检测算法[J]. *浙江大学学报:工学版*, 2012, 1: 028
- [4] 姚俊杰,胡刚,岳蜀华,等. 用于荧光分子断层成像的小动物躯干部分三维表面轮廓重建研究[J]. *中国生物医学工程学报*, 2008, 27(3): 360-365
- [5] Ma X, Tian J, Qin C, et al. Early detection of liver cancer based on bioluminescence tomography[J]. *Appl. Opt.*, 2011, 50: 1389-1395
- [6] 任鸽,曹兴芹,杨勇. 基于局部区域拟合模型的磁共振图像分割与偏移估计算法[J]. *计算机应用*, 2011, 31(12): 3350-3352
- [7] Zhang B, Yang X, Qin C, et al. A trust region method in adaptive finite element framework for bioluminescence tomography[J]. *Opt. Express*, 2010, 18: 6477-6491
- [8] Feng J, Jia K, Yan G, et al. An optimal permissible source region strategy for multispectral bioluminescence tomography[J]. *Opt.*

Express, 2008, 16: 15640-15654

- [9] Naser M A, Patterson M S. Bioluminescence tomography using eigenvectors expansion and iterative solution for the optimized permissible source region[J]. *Biomed. Opt. Express*, 2011, 2: 3179-3193
- [10] Naser M A, Patterson M S. Algorithms for bioluminescence tomography incorporating anatomical information and reconstruction of tissue optical properties [J]. *Biomed. Opt. Express*, 2010, 1: 512-526
- [11] 何炳蔚,陈志鹏,林东艺,等. 融合 SFS 和主动视觉技术的未知物体重建方法[J]. *仪器仪表学报*, 2012, 33(4): 727-736
- [12] Liu K, Tian J, Lu Y, et al. A fast bioluminescent source localization method based on generalized graph cuts with mouse model validations[J]. *Opt. Express*, 2010, 18: 3732-3745
- [13] 李彬,欧陕兴,田联房,等. 基于自适应自由变形法和梯度下降法的胸部多模医学图像配准[J]. *计算机应用研究*, 2009, 26(10): 100-107
- [14] 陈晶,孔令富. 基于计算网格的图像三维重建系统的设计[J]. *计算机工程与科学*, 2009, 31(9): 39-41
- [15] 厉小润,朱洁尔,王晶,等. 组合核支持向量机高光谱图像分类[J]. *浙江大学学报:工学版*, 2013, 8: 012
- [16] 贺小伟. 生物发光断层成像中光源重建逆问题研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011
- [17] 熊黎丽,王国胤,龚勋. 基于三维重建的人脸姿态估计[J]. *重庆邮电大学学报:自然科学版*, 2010, 22(3): 375-380

(上接第 305 页)

参 考 文 献

- [1] Papenberg N, Bruhn A, Brox T. Highly accurate optic flow computation with theoretically justified warping [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2006, 67(2): 141-158
- [2] Wren C R, Azarbayejani A, Darrell T, et al. Pfnder: real-time tracking of the human body[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997, 19(7): 780-785
- [3] Stauffer C, Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking[C]// *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 1999
- [4] Elgammal A, Duraiswami R, Harwood D, et al. Background and foreground modeling using nonparametric kernel density estimation for visual surveillance[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2002, 90(7): 1151-1163
- [5] 宋克臣,颜云辉,陈文辉,等. 局部二值模式方法研究与展望[J]. *自动化学报*, 2013, 39(1)
- [6] Tan X, Trings B. Enhanced local texture feature sets for face recognition under different lighting conditions[C]// *Proceedings of the IEEE International Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures*. 2007
- [7] Liao Sheng-cai, Zhao Guo-ying, Kellokumpu V, et al. Modeling Pixel Process with Scale Invariant Local Patterns for Background Subtraction in Complex Scenes[C]// *2010 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2010: 1301-

1306

- [8] Barnich O, Van Droogenbroeck M. ViBE: A powerful random technique to estimate the background in video sequences[C]// *ICASSP 2009; IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2009. 2009
- [9] Barnich O, Van Droogenbroeck M. ViBe: A Universal Background Subtraction Algorithm for Video Sequences[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, 20(6): 1709-1724
- [10] Toyama K, Krumm J, Brumitt B, et al. Wallflower: principles and practice of background maintenance[C]// *The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*, 1999. 1999
- [11] KaewTraKulPong P, Bowden R. An improved adaptive background mixture model for real-time tracking with shadow detection[C]// *Proc. 2nd European Workshop on Advanced Video Based Surveillance Systems*. 2001
- [12] Zivkovic Z. Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction[C]// *ICPR 2004; Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, 2004. 2004
- [13] Heikkila M, Pietikainen M. A texture-based method for modeling the background and detecting moving objects[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, 28(4): 657-662
- [14] Kim K, Chalidabhongse T H, Harwood D, et al. Background modeling and subtraction by codebook construction[C]// *ICIP'04; 2004 International Conference on Image Processing*, 2004. 2004