

文章编号 1004-924X(2011)04-0892-08

SIFT 特征匹配和差分相乘融合的运动目标检测

王 梅,屠大维,周许超

(上海大学 机电工程与自动化学院,上海 200072)

摘要:针对运动目标检测的难点问题,提出了一种结合尺寸不变特征变换(SIFT)和差分相乘算法的运动目标检测方法。首先,用 SIFT 特征匹配算法配准运动图像的旋转、缩放和平移量,利用 SIFT 匹配的稳定性和准确性,精确补偿运动摄像机下的背景图像。然后,用差分相乘方法,准确分割出运动目标的轮廓。最后,通过实拍视频序列的试验,证明算法的有效性和可行性。系列实验显示,连续 4 帧图像差分相乘的方法即能够较好地满足应用要求。实验结果表明,SIFT 特征匹配和差分相乘融合的方法具有较好的鲁棒性和抗噪能力,对于摄像机运动、亮度变化、遮挡等影响因素具有较强的适应能力。

关键词:尺度不变特征变换算法;差分相乘;动态背景;运动目标检测

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20111904.0892

Moving object detection by combining SIFT and differential multiplication

WANG Mei , TU Da-wei , ZHOU Xu-Chao

(School of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: For the difficulty of moving object detection by a moved camera, a method for detecting dynamic background caused by camera motion was proposed by combining a Scale Invariant Feature Transform(SIFT) and a differential multiplication. Firstly, the image registration based on SIFT features was applied to calculate transformation parameters, including translation factors, rotation angles and scaling coefficients, and to provide a robust matching for realizing the motion compensation precisely. Then, the object segmentation based on the differential multiplication was introduced to detect moving objects accurately. Finally, the experiments on the video sequences were performed to verify the robustness and validity of the method. Experiments show that instead of 6 or more frames, 4 frames are enough for the differential multiplication in practical applications. The detection method is robust and denoising in dynamic scenes and has good adaptability to changing illumination, occlusion and camera movement.

Key words: Scale Invariant Feature Transform(SIFT); differential multiplication; dynamic background; moving object detection

收稿日期:2010-07-23;修订日期:2010-08-12.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 60774102、No. 51075252);上海大学创新基金资助项目(No. A10-0109-09-015)

1 引言

运动目标检测是机器视觉研究热点之一^[1-2],根据摄像机的状态,可以分为静态背景检测和动态背景检测两类。静态背景目标检测中,摄像机保持静止,背景图像通常是静态的,进行运动目标检测较为容易,已广泛用于道路、机场、停车场等固定场景的视频监控,常用的背景模型有高斯背景模型^[3]、基于核密度估计的自适应背景模型^[4]和隐马尔可夫背景模型^[5]等。动态背景目标检测中,摄像机发生移动和旋转,导致图像中的背景和物体同时运动,增加了运动目标检测的难度,是当前运动目标检测研究的重点问题,广泛用于自动驾驶和机器人导航、运动目标跟踪中。

动态背景下运动物体检测算法主要有3类:光流法、背景比较法和帧间差分法。光流法^[6]中,由于背景和检测目标运动速度不同,导致光流存在较大差异,并据此辨别运动物体;光流法计算量大,且有孔径问题^[7]。背景比较法利用图像配准来动态更新背景模型^[8],通过比较实际图像与背景模型来获取运动目标。帧间差分法对连续几幅图像的背景进行配准,补偿运动背景的差异^[9],将目标检测转化成静态背景下的运动物体检测问题,通过前后帧的差分图像分离出运动物体^[10-11]。

背景图像配准方法有基于相关的算法^[12]、基于傅利叶变换的方法^[13-15]和基于特征匹配的方法^[16]等3类。特征匹配法具有计算简单、精度高的特点,但现有的角点匹配法受角点匹配误差和环境变化的影响较大。2004年David G. Lowe^[17]在分析、总结多种基于不变量技术的特征检测方法的基础之上,提出了尺度不变特征变换算法(Scale Invariant Feature Transform, SIFT)。SIFT方法基于尺度空间的特征匹配算法,对图像平移、旋转、缩放、亮度变化、遮挡和噪声等具有良好的不变性,对视觉变化、仿射变换也保持一定程度的稳定性。

本文提出一种SIFT特征匹配和差分相乘相结合的运动目标检测方法。利用基于SIFT特征的补偿技术,进行动态图像精确配准,然后用帧间差分技术检测出运动目标。与简单差分法和差分累加法相比,本文中的差分相乘法能够极大地滤除噪声点,准确分割出运动目标轮廓。文中最后

通过形态学图像处理检测出完整的运动目标。

2 图像配准

David G. Lowe提出的SIFT特征匹配算法^[17]是当前特征匹配研究领域的热点和难点所在。SIFT特征是图像的局部特征,对平移、旋转、尺度缩放、照明条件变化、遮挡和图像噪声等具有良好的不变性。SIFT算法能够提取海量特征数据,用于快速、准确的匹配。同时可以很方便地与其他形式的特征向量联合,以提高扩展性。因此,SIFT特征匹配算法具有信息量丰富、匹配能力强、鲁棒性好的优点,能够处理两幅图像之间的精确匹配问题。

基于SIFT的图像配准经过以下几个步骤:首先,在图像的尺度空间中,提取并筛选SIFT特征点,生成特征描述符。其次,在一定的尺度空间范围内,搜索特征向量之间欧式距离最小的SIFT点对,以匹配来自不同图像的SIFT特征点。最后,利用大量冗余的SIFT特征匹配对,通过最小二乘法,辨识出待配准图像和基准图像间的变换参数。

2.1 高斯差分金字塔

在SIFT算法中,由尺度空间来模拟图像数据的多尺度特征。根据尺度空间理论,二维图像的尺度空间 L 定义为高斯尺度空间

$$L(x, y, \delta) = G(x, y, \delta) * I(x, y), \quad (1)$$

其中,*是卷积操作算子; (x, y) 是空间坐标; σ 是尺度坐标; $G(x, y, \delta)$ 是尺度可变的高斯函数,表示为

$$G(x, y, \delta) = \frac{1}{2\pi\delta^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\delta^2}}, \quad (2)$$

高斯差分尺度空间(Difference-of-Gaussian (DOG) scale-space)是不同尺度的高斯差分方程同图像的卷积,如式(1),可以简单地通过不同尺度的两幅高斯图像直接相减而得到

$$D(x, y, \delta) = (G(x, y, k\delta) - G(x, y, \delta)) * I(x, y) = L(x, y, k\delta) - L(x, y, \delta), \quad (3)$$

为了高效地提取SIFT特征点,通过降采样的方法,逐层构建高斯差分金字塔。在保证采样精度的条件下,可以大幅减小SIFT特征点的计算量。

2.2 SIFT 特征点及其定位参数

SIFT 特征点是高斯差分尺度空间中的局部极值点,据此可以提取 SIFT 特征点,并确定其位置、尺度和方向等参数信息。

在高斯差分(DoG)尺度空间下,比较相邻尺度和相邻位置的采样点,得到候选特征点。利用像素域值法排除对比度较低的点;并通过分析极值点处 Hessian 矩阵的性质来消除不稳定的边缘响应点,从而筛选出稳定的特征点,以提高 SIFT 算法的稳定性和抗噪声能力^[17]。

记录 SIFT 特征点的坐标和尺度 $z = (x, y, \delta)^T$ 。特征点的定位偏差 \hat{z} 如式(4)所示,根据偏

$$\hat{z} = -\frac{\partial^2 D^{-1} \partial D}{\partial z^2 \partial z}. \quad (4)$$

$$m(x, y) = \sqrt{(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2}$$

$$\theta(x, y) = \arctan \frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)}. \quad (5)$$

图像的 SIFT 特征点检测完毕,每个 SIFT 特征点有 3 个信息:位置 (x, y) 、所处尺度 δ 和方向 θ 。

2.3 SIFT 特征描述符及 SIFT 特征点对的匹配

在基于特征的图像配准技术中,匹配能力将取决于所选特征是否具有唯一性、稳定性,取决于特征描述符中所含信息是否足够丰富。尤其在运动摄像机下,图像之间发生平移、旋转、缩放和亮度变化,给图像匹配带来了难度,因而要求特征描述符对于图像变化具有不变性且信息量大。SIFT 特征及其描述符较好地满足了上述要求,以其良好的性能,迅速成为图像匹配的有力工具。

SIFT 特征匹配算法的思路是:将邻域方向性信息联合起来,作为特征描述符,用于两幅图像之间特征点的匹配搜索,特征描述符以 SIFT 特征向量的形式来表示。它通过提供大量的信息,来增强算法抗噪声的能力,同时对于含有定位误差的特征匹配也提供了较好的容错性。

在确定 SIFT 特征点的位置、尺度、主方向的基础上,生成其特征描述符。首先,在尺度为 δ 的高斯图像中,将坐标轴旋转为该特征点的方向 θ ,以 SIFT 特征点为中心取 $n \times n$ 矩形窗口,以确保位移、尺度和旋转不变性。将采样窗口均分为 $m \times m$ 个子块,在每个子块上计算 r 个方向的梯度直方图。故一个 SIFT 特征点可以产生 $m \times m \times r$ 个数据,最终形成的特征描述符为一个 $m \times m \times r$

差大小决定是否要进一步精确定位特征点。

为了获取 SIFT 特征点旋转方向的信息,以保证特征描述符具备旋转不变性,需要利用邻域像素梯度方向的分布特性来确定特征点的方向参数 θ 。SIFT 特征点的梯度值和梯度方向分别为 $m(x, y)$ 和 $\theta(x, y)$ (如式(5)所示)。在以 SIFT 特征点为中心的邻域窗口内,用直方图统计邻域像素的梯度方向,直方图的峰值代表了特征点邻域梯度的主方向,故将其作为该 SIFT 特征点的方向参数 θ 。

维的 SIFT 特征向量。

实际应用过程中,采样窗口划分为 4×4 个子块,8 个方向梯度,形成的 SIFT 特征向量为 128 维。特征描述符所容纳的信息量大,从而增强了匹配的稳健性。SIFT 特征向量已经去除了尺度变化、旋转等几何变形因素的影响,若将特征向量的长度归一化,则可以进一步去除光照变化的影响。

当两幅图像的特征描述符生成后,可以采用 SIFT 特征向量的欧式距离作为两幅图像中 SIFT 特征点的相似性判定度量,将具有最小欧式距离的两个 SIFT 特征点匹配起来。

在匹配过程中,穷举法是最为完备的搜索算法,但计算量将随着特征点数目的增加而呈指数增长。考虑到计算量和计算时间等因素,在实际匹配中常采用 BBF(Best-Bin-First)搜索算法^[18]。

一个特征点可能存在多个相似匹配点,为了减少由此引起的误匹配问题,可先比较最近邻和次近邻特征点距离之比,当比值小于阈值 T_d ,则接受该匹配点对,否则丢弃。降低阈值,可以减少 SIFT 匹配点对的数目,增加匹配的稳定性。

2.4 图像平移、缩放和旋转参数计算

摄像机的运动引起图像发生变化,主要包括平移、旋转、缩放、拉伸等,可以用仿射变换来表示。仿射变换在二维空间中的矩阵表示形式为

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 & f_2 \\ f_3 & f_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}, \quad (6)$$

其中, $[x, y]^T$ 为第一帧图像中采样点的坐标, $[u, v]^T$ 为第二帧图像中匹配点的坐标。参数 $(f_1, f_2, f_3, f_4, t_x, t_y)$ 决定了图像之间的转换关系, (f_1, f_2, f_3, f_4) 表示图像的旋转和缩放, (t_x, t_y) 表示图像的平移, 理论上只需要 3 组匹配对就可以确定这 6 个参数。当方程数超过未知数的数目时, 可以利用最小二乘法求解方程的最优解。

由前述 SIFT 匹配算法, 已经求出的两帧图像中的 SIFT 特征匹配对, 其坐标分别为 $(x_1, y_1) _ (u_1, v_1), (x_2, y_2) _ (u_2, v_2), \dots, (x_k, y_k) _ (u_k, v_k)$ 。存在大量冗余的 SIFT 特征匹配对, 则最小二乘参数辨识的计算公式相应地写为

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & x_1 & y_1 & 0 & 1 \\ & & \dots & \dots & & \\ & & \dots & \dots & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ t_x \\ t_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix}, \quad (7)$$

由参数拟合方法得到旋转、缩放因子和平移参数, 完成图像的配准。

2.5 图像配准流程

综上所述, SIFT 特征匹配图像配准的流程图如图 1 所示。

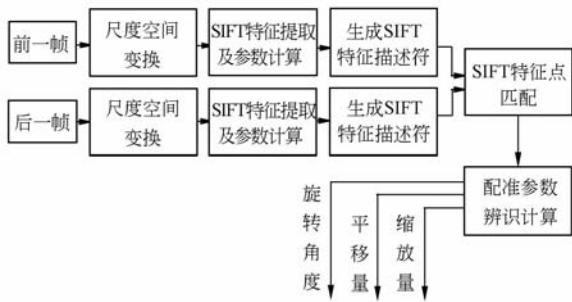


图 1 图像配准流程图

Fig. 1 Flow chart of image matching

3 运动物体分割与后处理

3.1 差分相乘运动目标分割

SIFT 配准后, 将前后两幅配准图像进行帧间差分就可分割出运动目标。设 $I_{k-1}(x, y)$ 和 $I_k(x, y)$ 是前后两帧配准后的图像, 通过式(8)所示

的帧间差分和阈值处理后, 可以得到运动目标的二值图像

$$d_{k-1,k}(x, y) = \begin{cases} 1 & |I_k(x, y) - I_{k-1}(x, y)| > T \\ 0 & \text{others} \end{cases}, \quad (8)$$

理论上, 在差分二值图像 $d_{k-1,k}(x, y)$ 中, 只有运动物体所覆盖区域的像素点位置非 0; 但在实践过程中, 由于图像中存在高频噪声、光照变化、背景细微变化等影响因素, 同时图像配准也会引起误差, 使得二值图像中, 除了运动物体以外, 仍有很多像素点非零, 即存在噪声点。滤除噪声点成为提高运动目标检测准确性的有效手段。

考虑到连续多帧差分二值图像检测出的运动目标之间必然存在运动重叠区域, 且具有一定的稳定性, 而噪声点分布是随机的, 利用这一性质, 通过多帧差分二值图像相乘的方法, 可以提取运动目标的中间重叠区域, 精确检测出运动物体, 同时有效地排除随机存在的噪声点。差分相乘具有很强的抗噪声干扰的能力。

综合考虑分割精度和运动速度等影响因素, 本文采用连续 4 帧图像差分相乘的方法^[19]来分割运动物体。取任意连续的 4 帧图像, 分别将第 $k+1$ 帧与第 $k-1$ 帧图像配准, 第 $k+2$ 帧与第 k 帧配准, 得到配准后的 4 幅图像 $I_{k-1}(x, y), I_k(x, y), I_{k+1}(x, y)$ 和 $I_{k+2}(x, y)$ 。则差分相乘后的二值图像 $M_{k-1,k+2}(x, y)$ 为

$$M_{k-1,k+2}(x, y) = d_{k-1,k+1}(x, y) \times d_{k,k+2}(x, y). \quad (9)$$

3.2 图像后处理

经过差分相乘处理后, 得到的运动目标不规则轮廓, 在二值图像中仍可能残留一些孤立的噪声点。利用形态学图像处理技术^[20]对 $M(x, y)$ 优化, 通过膨胀、腐蚀等手段弥补断裂的轮廓线, 消除小的孔洞, 进一步滤除残留的噪声点, 最终准确地分割出运动目标。

4 试验与结果分析

根据前文所述的图像配准和分割算法, 在 VC++6.0 环境下, 在 OpenCV 基础上, 编写应

用程序。实验中,由手持式摄像机拍摄 200 frame 640×480 的行人视频,帧频为 25 frame/s。摄像机是运动的,因此,图像存在平移、旋转和缩放。图 2 是实验视频中的第 32,33,34,35 帧图像。

首先,进行图像配准,将第 34 帧与第 32 帧配准,第 35 帧与第 33 帧配准,配准后的图像如图 3 所示;然后,进行简单差分,分别获得第 34 帧与



(a) 第 32 帧原始图像
(a) Original image 32



(b) 第 33 帧原始图像
(b) Original image 33



(c) 第 34 帧原始图像
(c) Original image 34



(d) 第 35 帧原始图像
(d) Original image 35

图 2 原始图像
Fig. 2 Original images



(a) 第 34 帧与第 32 帧配准图像
(a) Matched image 34 for image 32



(b) 第 35 帧与第 33 帧配准图像
(b) Matched image 35 for image 33

图 3 配准图像

Fig. 3 Matched images

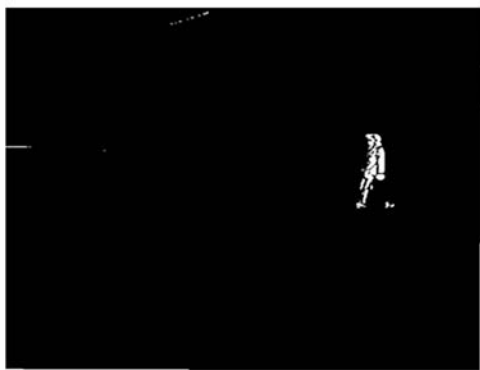
第 32 帧的帧间差分、第 35 帧与 33 帧的帧间差分,差分结果如图 4 所示;最后,将差分图像相乘并做形态学图像处理(如图 5 所示),二值图像明

确显示出运动目标。

从实验结果来看,简单差分可以分割出运动目标轮廓,但是受环境因素和匹配误差的影响较大,使得差分图像中存在许多噪声点(如图4(a)和图4(b)所示)。利用噪声随机性的特点,差分相乘技术能够有效滤除噪声点,大大减少噪声点的数量,因而图5(a)中噪声点的数量大幅减少。其后,通过先膨胀再腐蚀的形态学处理,进一步优化差分相乘后的结果,使图像中清晰地显示出运



(a) 第32与34帧差分图像
(a) Differential image of 32 and 34

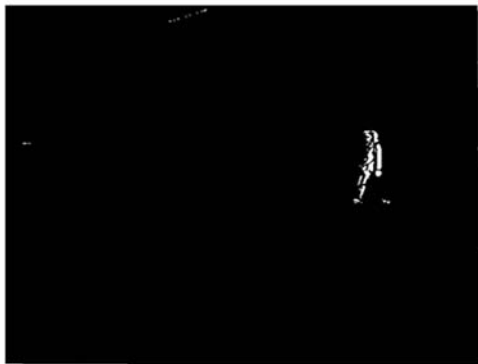


(b) 第33与35帧差分图像
(b) Differential image of 33 and 35

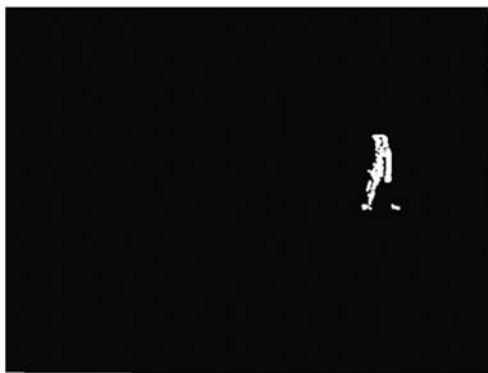
图4 差分图像

Fig. 4 Differential images

动目标。在SIFT算法中,特征点的匹配及相关参数的计算将直接影响图像匹配的精度,需要对候选特征点进行筛选,剔除不稳定的点和对噪声较为敏感的边缘点。因此,必须合理设置特征点稳定性和边缘点的判定参数,以保证匹配精度。若参数设置宽松(即特征点稳定性中对比度要求较低,边缘点检测条件较低),则得到的特征点较多,使得有效匹配点对数目增加,但匹配点对精度



(a) 差分相乘图像
(a) Result of differential multiplication



(b) 形态学处理结果
(b) Result of post processing

图5 运动目标检测结果

Fig. 5 Results of moving object detection

有所下降;若参数设置严格,则剔除的点较多,使得有效的匹配点对数目减少,虽然匹配点对精度较高,但不利于变换参数辨识的鲁棒性。故需要结合应用的实际情况,加以权衡,合理地选择相关参数。

运动目标分割阶段也可以选用连续6帧连续图像差分相乘的方法,更好地消除随机因素的影响,从而提高抗噪声能力和算法鲁棒性,但综合考虑运算量及计算代价,本文仍采用4帧图像差分相乘的方法,实验证实它可以满足应用要求。

5 结论

针对摄像机运动情况下运动目标检测的难点问题,本文提出了一种新的SIFT和差分相乘相结合的运动目标检测方法。首先,用SIFT特征匹配算法完成图像配准,通过获取运动图像的旋

转、缩放和平移量,来精确补偿运动摄像机下的背景图像。然后,用差分相乘方法实现运动目标检测,准确分割出运动目标的轮廓。该方法利用了 SIFT 特征匹配算法在蕴含的信息量、图像匹配能力、算法鲁棒性等方面的优势,减少了对图像内容的依赖,具有较强的抗噪声干扰的能力。与其它的帧间差分技术相比,差分相乘方法能够更为有

效地滤除环境影响及匹配误差引起的噪声点,进一步提高运动目标检测的准确性。实验表明, SIFT 特征匹配和差分相乘融合的方法具有较强的鲁棒性。通过视频实验,验证了该方法的有效性和可行性,实验证实了 4 帧图像差分相乘的方法足以满足应用要求。文中所采集的图像大小为 $640 \text{ pixel} \times 480 \text{ pixel}$,采样频率为 25 frame/s 。

参考文献:

- [1] RADKE R J, ANDRA S, AL-KOFAHI O, *et al.*. Image change detection algorithms: a systematic survey [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2005,14(3):1-14.
- [2] ELHABIAN S Y, EL-SAYED K M, AHMED S H. Moving object detection in spatial domain using background removal techniques -State-of-art [J]. *Recent Patents on Computer Science*, 2008,1(1):32-54.
- [3] 朱碧婷, 郑世宝. 基于高斯混合模型的空间域背景分离法及阴影消除法[J]. *中国图象图形学报*, 2008,13(10):1906-1909.
- ZHU B T, ZHENG SH B. Space domain background subtraction and shadow elimination based on gaussian mixture model [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2008,13(10):1906-1909. (in Chinese)
- [4] ELGAMMAL A, DURAISWAMI R, HARWOOD D, *et al.*. Background and foreground modeling using nonparametric kernel density estimation for visual surveillance [J]. *Proc. of the IEEE*, 2002,90(7):1151-1163.
- [5] KATO J, WATANABE T, JOGA S, *et al.*. An HMM-based segmentation method for traffic monitoring movies [J]. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002,24(9):1291-1296.
- [6] SASA G, LONCARIC S. Spatio-temporal image segmentation using optical flow and clustering algorithm [C]. *First Int. Work-shop on Image and signal Processing and Analysis*, 2000:63-68.
- [7] BARRON J L, FLEET D J, BEAUCHEMIN S S. Performance of optical flow techniques [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1994,12(1):42-77.
- [8] REN Y, CHUA C S, HO Y K. Motion detection with non-stationary background [J]. *Machine Vision and Application*, 2003,13(5):332-343.
- [9] 王会峰, 刘上乾, 汪大宝, 等. 基于序列图像特征配准的摄像机旋转补偿算法[J]. *光学精密工程*, 2008,16(7):1330-1334.
- WANG H F, LIU SH Q, WANG D B, *et al.*. Video camera rotation compensation algorithm based on feature matching of sequence image frames [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(7):1330-1334. (in Chinese)
- [10] 丁雪梅, 王维雅, 黄向东. 基于差分 and 特征不变量的运动目标检测与跟踪[J]. *光学精密工程*, 2007,15(4):570-576.
- DING X M, WANG W Y, HUANG X D. New method for detecting and tracking of moving target based on difference and invariant [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(4):570-576. (in Chinese)
- [11] LENG B, DAI Q. Video object segmentation based on accumulative frame difference [C]. *Proc. Of Picture Coding Symposium*, 2007:1155.
- [12] COLLINS R T, LIPTON A J, KANADE T, *et al.*. *A system for video surveillance and monitoring* [R]. Technical report, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2000.
- [13] HUANG J Z, TAN T N, MA L, *et al.*. Phase correlation based iris image registration model [J]. *Journal of Computer Science and Technology*, 2005,20(3):419-425.
- [14] REDDY B S, CHATTERJI B N. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1996,5(8):1266-1271.
- [15] JIA R, ZHANG H, WANG L, *et al.*. Digital im-

age stabilization based on phase correlation [C]. *Int. Conf. on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 2009:485-489.

- [16] ZHAN C, DUAN X, XU S, *et al.*. An improved moving object detection algorithm based on frame difference and edge detection [C]. *Fourth Int. Conf. on Image and Graphics*, 2007:519-523.
- [17] DAVID G LOWE. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004,60(3):91-110.
- [18] 纪华, 吴元昊, 孙宏海, 等. 结合全局信息的 SIFT 特征匹配算法[J]. *光学精密工程*, 2009,17(2):439-444. (in Chinese)
- JI H, WU Y H, SUN H H, *et al.*. SIFT feature

matching algorithm with global information [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17(2):439-444. (in Chinese)

- [19] 周许超, 屠大维, 陈勇, 等. 基于相位相关和差分相乘的动态背景下运动目标检测[J]. *仪器仪表学报*, 2010,31(5):980-983.
- ZHOU X CH, TU D W, CHEN Y, *et al.*. Moving object detection under dynamic background based on phase-correlation and differential multiplication [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010,31(5):980-983. (in Chinese)
- [20] GONZALEZ R C, WOODS R E. *Digital Image Processing* [M]. 3rd. Prentice Hall, 2008.

作者简介:



王梅(1969—),女,辽宁北镇人,博士,硕士生导师,1992年于复旦大学获学士学位,2002年于甘肃工业大学获硕士学位,2008年于浙江大学获博士学位,主要研究领域为机器人学、机器视觉及伺服控制、智能系统等。E-mail: mwang@shu.edu.cn



周许超(1984—),男,河南禹州人,硕士研究生,2007年于郑州大学获学士学位,主要研究领域为数字图像处理、运动视觉等。E-mail: best_zxc@139.com

通讯作者:



屠大维(1965—),男,浙江诸暨人,教授,博士研究生导师,1987年、1989年、1993年于浙江大学分别获学士、硕士、博士学位,现为上海大学机电工程与自动化学院执行院长,主要研究方向为机器视觉及伺服控制、光机电一体化智能机械及仪器、人机智能系统等。E-mail: tdwshu@staff.shu.edu.cn