

文章编号 1004-924X(2009)03-0683-07

# 由形态学边缘模式匹配实现数字稳像

王小鹏, 阎国梁, 裴建刚, 晏鑫

(兰州交通大学 电子与信息工程学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**针对在一些实际应用场合摄像机设备的震动造成的视频序列失稳,提出了一种基于形态学边缘模式匹配的数字稳像方法。该方法首先利用形态学方法提取视频图像边缘,然后利用当前帧子块与参考帧子块的边缘进行特征匹配,以确定当前帧子块相对于参考帧的局部运动矢量。对得到的局部运动矢量进行分析判决,以确定该局部运动矢量是否为真正的抖动偏移量,消除视频帧本身因存在局部运动目标、低对比度、纹理区域等因素对全局运动矢量估计的影响;最后,通过判别确认的局部运动矢量确定全局运动矢量并进行运动补偿,实现数字稳像。仿真实验表明,由于该方法的块局部运动矢量采用1 bit边缘进行最大相关值估计,因而复杂度低,而采用异常情况判决准则消除了其对真正运动矢量估计的影响,稳像精度高,可应用于因摄像头平移震动等因素造成的视频序列失稳。

**关键词:**数字稳像;形态学边缘;模式匹配;运动矢量;运动补偿

**中图分类号:**TP391.4;TN941.1 **文献标识码:**A

## Stabilization of digital image by morphological edge pattern matching

WANG Xiao-peng, YAN Guo-liang, PEI Jian-gang, YAN Xin

(School of Information & Electronic Engineering, Lanzhou  
Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** To eliminate the image jittering from the vibration caused by the translation motion of a camera, a method of digital image stabilization based on morphological edge pattern matching is proposed. In this method, morphological edge matching is used to estimate the local movement vectors based on the 1 bit edge maximal correlation. Since correlation calculation is logical operator instead of pixel-wise gray arithmetic operators, the complexity of proposed method is greatly reduced. Moreover, in order to remove the undesired local motion vectors caused by several undesired conditions, the local motion vectors are analyzed to judge whether it is desired or not and to eliminate the effects of locate motion target, low contrast and texture pattern regions on the estimation of globe motion vectors. Finally, the reliable globe movement vector is obtained by weight median. Experiments show that this method is fast and efficient for image stabilization, and can be applied in the video vibrations without large rotations.

**Key words:** digital image stabilization; pattern morphological edge; pattern matching; motion vector; motion compensation

收稿日期:2008-07-08;修订日期:2008-07-25.

基金项目:甘肃省自然科学基金资助项目(No. 0710RJZA046);兰州交通大学“青蓝”人才工程基金资助项目

## 1 引言

摄像机在有些环境下,由于其载体受震动等因素影响,致使其姿态发生变化,从而直接导致视频图像序列的不稳定或抖动。这一方面使观察者感到视觉疲劳,另一方面会造成视频图像的质量下降,使后续的视频图像处理难以进行。

常见的稳像方法有机械式、电子式和数字式稳像<sup>[1]</sup>,其中机械式和电子式稳像需要实时硬件支持,成本较高,相比之下,数字稳像利用数字图像处理技术实现稳像而无需过多的硬件设备(如陀螺、伺服系统等),既可以在线应用,也可以离线对抖动视频进行处理,具有成本低、灵活性大及稳像效果好的特点,目前已成为视频稳像的研究和应用热点。

数字稳像包括两个基本处理步骤:运动估计和运动补偿。运动估计主要是从视频序列中提取摄像机的可靠全局运动矢量,进而利用该全局运动矢量对当前帧相对于参考帧进行运动补偿,从而获取平滑稳定的视频序列。在这一过程中,运动矢量的估计至关重要,因为稳像效果的好坏直接取决于运动矢量估计,同时,这也是数字稳像的难点和重点。围绕着运动矢量估计这一问题的解决,许多学者已提出了各种各样的数字稳像算法,如块匹配<sup>[2]</sup>、灰度投影<sup>[3]</sup>、代表点匹配(RPM)<sup>[4]</sup>、位平面匹配(BPM)<sup>[5-6]</sup>以及边缘模式匹配等。块匹配的估计准确性和可靠性较高,但运算量大;RPM的运算复杂度较小,但难以处理诸如图像内部目标移动等因素对运动估计的影响;BPM运算复杂度较小,但合适的灰度级平面难以确定。为了提高稳像准确度同时降低运动估计运算的复杂度,本文提出了一种基于形态学边缘模式匹配的数字稳像方法,首先利用边缘进行当前帧和参考帧的匹配,降低运动矢量估计运算量,同时,利用形态学边缘检测的准确定位特性提高运动矢量估计的准确性,并通过排除影响全局运动补偿的图像内目标移动、低对比度区域和纹理模式等因素的影响,提高稳像准确度。

提出的数字稳像方法主要包括形态学边缘特征检测和匹配、局部运动矢量估计、全局运动矢量估计以及运动补偿等。

## 2 形态学边缘特征匹配

事实上,图像特征有多种,如线段、拐点等,但边缘是图像的基本特征,之所以选择边缘作为当前帧和参考帧的匹配特征,原因在于首先利用边缘作为匹配特征,可以减小匹配的运算量。另外,本文提出的形态学边缘检测相比 Sobel、Robot、Prewitt 等算法,具有较高的边缘定位准确率,从而保证稳像效果。

假设  $f^t(x, y)$  表示第  $t$  帧图像,则  $f^{t-1}(x, y)$  为第  $t-1$  帧参考图像,那么利用结构元素  $B(x, y)$  分别对  $f^t(x, y)$  和  $f^{t-1}(x, y)$  做梯度运算,则有

$$f_{\text{grad}}^t(x, y) = f^t(x, y) \oplus B(x, y) - f^t(x, y) \ominus B(x, y), \quad (1)$$

$$f_{\text{grad}}^{t-1}(x, y) = f^{t-1}(x, y) \oplus B(x, y) - f^{t-1}(x, y) \ominus B(x, y), \quad (2)$$

其中,  $\oplus$  和  $\ominus$  分别表示形态学膨胀和腐蚀运算。然后利用  $f^t(x, y)$  和  $f^{t-1}(x, y)$  的自适应阈值<sup>[8]</sup>  $T_1$  和  $T_2$  分别对  $f_{\text{grad}}^t(x, y)$  和  $f_{\text{grad}}^{t-1}(x, y)$  进行阈值处理,即

$$f_{\text{edge}}^t(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } f_{\text{grad}}^t(x, y) \geq T_1 \\ 0, & \text{else} \end{cases}, \quad (3)$$

$$f_{\text{edge}}^{t-1}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } f_{\text{grad}}^{t-1}(x, y) \geq T_2 \\ 0, & \text{else} \end{cases}, \quad (4)$$

其中,  $f_{\text{edge}}^t(x, y)$  和  $f_{\text{edge}}^{t-1}(x, y)$  为当前帧和参考帧的边缘图像。由于边缘图像为 1 bit 特征图像,因此减小了后续局部运动矢量估计的运算量。

由于相邻两帧  $f^t(x, y)$  和  $f^{t-1}(x, y)$  的图像亮度通常变化不大,因此,这里阈值  $T_1 = T_2$ , 这样可以只对当前帧  $f^t(x, y)$  计算其自适应阈值  $T_1$ , 使整体边缘检测运算量减小。

## 3 运动矢量估计

为了估计参考帧和当前帧图像间的全局运动矢量,同时提高运算速度,首先在两边缘图像中分别定义 4 个一定大小的块区域(如图 1 所示),分别为  $S_1^{-1}$ 、 $S_2^{-1}$ 、 $S_3^{-1}$ 、 $S_4^{-1}$  以及  $S_1^t$ 、 $S_2^t$ 、 $S_3^t$ 、 $S_4^t$ , 然后在相应子块的一定范围内进行边缘匹配,以

确定各分块的局部运动矢量。

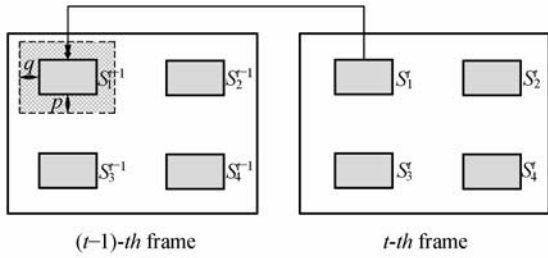


图 1 参考帧与当前帧子块的匹配

Fig. 1 Sub-block matching between current and reference frames

### 3.1 局部运动矢量估计

块内边缘匹配过程如下:假设帧在垂直和水平方向上的抖动偏移量不超过  $p, q$ , 子块大小为  $M \times N$ , 那么当前帧  $S_i^t (i=1, 2, 3, 4)$  与参考帧子块  $S_i^{t-1}$  进行边缘匹配的搜索范围即为  $(M+2p) \times (N+2q)$ , 为了获取最佳边缘匹配结果, 定义如下相关计算作为衡量子块边缘是否匹配的度量:

$$C_i(m, n) = \sum_{(x, y) \in S_i} f_{\text{edge}}^t(x, y) \otimes f_{\text{edge}}^{t-1}(x+m, y+n), \quad (5)$$

其中,  $\otimes$  表示逻辑与运算。在搜索范围  $(-p \leq m \leq p, -q \leq n \leq q)$  的每一  $(m, n)$  处,  $C_i(m, n)$  为  $S_i^t$  与  $S_i^{t-1}$  的相关值(即匹配程度), 当  $(m, n)$  移动至使  $C_i(m, n)$  值在搜索范围内最大时,  $S_i^t$  与  $S_i^{t-1}$  为最佳匹配, 此时  $(m, n)$  即为子块  $S_i^t$  的局部运动矢量  $V_i^t$ , 即

$$V_i^t = (m, n) | \max\{C_i(m, n), -p \leq m \leq p, -q \leq n \leq q\}. \quad (6)$$

由于参与子块边缘匹配的相关运算均为逻辑与运算, 且子块为当前帧图像的部分边缘, 因此, 算法复杂度降低。

当所有局部运动矢量  $V_i^t$  确定后, 接下来的工作就是通过这些局部运动矢量  $V_i^t$  确定全局运动矢量。利用局部运动矢量  $V_i^t$  的中值<sup>[9]</sup>可作为全局运动矢量, 尽管运算简单, 但在诸如视频图像中存在运动目标、纹理模式目标或子块处于低对比度区域时, 计算得到的局部运动矢量往往因为上述因素的影响, 使得其并非是实际摄像机震动造成的全局运动矢量。这种情况下, 通过局部运动矢量确定全局运动矢量时, 必须消除图像自身因素造成的局部运动矢量, 使真正因摄像机震动或

抖动导致的局部运动矢量用来确定全局运动矢量, 提高稳像的准确度和效果。为此, 本文在进行全局运动矢量估计之前, 首先对影响局部运动矢量的异常情况进行分析, 然后加以消除。

### 3.2 影响局部运动矢量的因素

影响局部运动矢量估计的因素有很多, 但主要来自视频图像内容本身, 如图像内容存在移动目标、纹理模式、噪声以及较大面积的低对比度区域等, 这些内在因素均会不同程度的造成某一子块所估计的局部运动矢量不能真正地反映因震动或抖动所造成的全局运动矢量。事实上, 这些因素对局部运动矢量估计的影响源于子块边缘匹配过程的相关计算(见图 2)。由图 2(a)可以看出, 正常情况下, 子块边缘匹配相关值有一个最大值, 此时得到的局部运动矢量为真正的全局运动矢量。

当子块存在移动目标时, 相应的边缘匹配相关值存在多个局部极大值(图 2(b)), 这时最大相关值可能小于正常值, 这种情况可通过设置上下限相关阈值加以判断, 具体如下:

$$\begin{cases} C_{\max} - C_{\text{avg}} < C_{\text{TH1}} \\ C_{\max} < C_{\text{TH2}} \end{cases}. \quad (7)$$

其中  $C_{\text{TH1}}$  和  $C_{\text{TH2}}$  分别为预设的上下限相关阈值。若满足式(7), 则表明该子块内目标移动对局部运动矢量估计影响较大, 否则该最大相关值对应的  $V_i^t$  可参与后续的全局运动矢量计算。

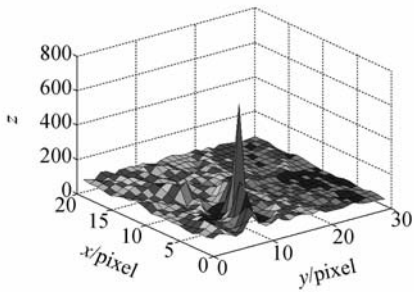
当子块包含低对比度区域时, 由于子块内边缘较少, 因而相应的边缘匹配最大相关值较小(图 2(c))。针对这种情况, 首先计算出子块边缘匹配的平均相关值  $C_{\text{avg}}$ , 然后与预设的相关阈值  $C_{\text{TH3}}$  进行比较, 若  $C_{\text{avg}} < C_{\text{TH3}}$ , 则说明该子块的最大相关值对应的  $V_i^t$  不可靠,  $V_i^t$  将不参与后续全局运动矢量计算, 否则, 则参与计算。

对于因噪声造成的影响, 由于形态学边缘检测本身能够消除, 因此残留噪声边缘对局部运动矢量估计的影较小。

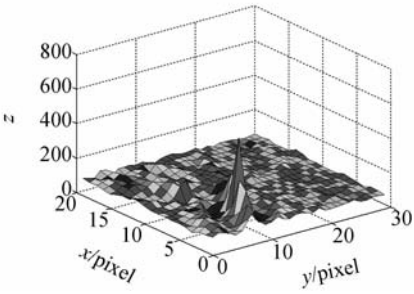
另外一种情况是当视频存在纹理模式时, 边缘匹配相关值可能出现多个幅度较大的局部极大值(图 2(d)), 可通过预设相关阈值加以判断, 即

$$C_{\max} - C_{\text{max}} < C_{\text{TH4}}, \quad (8)$$

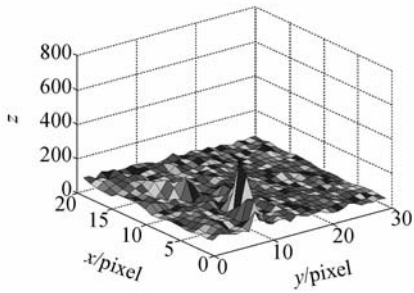
其中  $C_{\text{max}}$  为次最大相关值,  $C_{\text{TH4}}$  表示预设相关值阈值。若式(8)成立, 表明纹理模式对局部运动矢量估计影响较大, 否则该子块最大相关值对应的



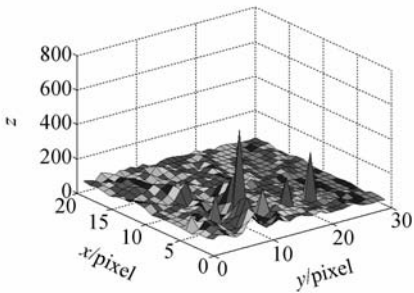
(a) 正常条件  
(a) Normal



(b) 运动目标  
(b) moving target



(c) 低对比度  
(c) low-contrast



(d) 纹理模式  
(d) texture pattern

图 2 不同视频内容条件下的子块边缘匹配相关值分布

Fig. 2 Edge correlation curve distributions of sub-block under different conditions

$V_i^j$  可参与后续的全局运动矢量计算。

### 3.3 全局运动矢量估计及补偿

当每一子块的局部运动矢量确定后,便可以进行全局运动矢量估计。由于视频帧内可能存在移动目标、低对比度区域或纹理模式区域等。因此,在进行全局运动矢量估计时,必须将这些影响真正全局运动矢量的局部运动矢量加以消除。为达到这一目的,全局运动矢量估计采用加权中值方式,即

$$V_g^i = \text{med}\{a_i V_i^j\} (i=1,2,3,4), \quad (9)$$

其中,  $a_i$  为子块  $S_i^j$  对应的判决权值,其取值是 1 或 0,取决于影响局部运动矢量因素的判定结果,当  $S_i^j$  判决结果为参与全局运动矢量计算时,则  $a_i = 1$ ,否则为 0。这样,通过预先对各子块影响因素的判断并排除,可以有效消除非因摄像机震动或抖动因素对稳像精度的影响。

全局运动矢量估计完成后,便可以对当前帧以矢量  $V_g^i$  进行相反方向的补偿,实现视频序列稳像。由于全局运动矢量的存在,可能导致补偿后当前帧的边界部分超出边框,为此,需要对补偿后的视频帧进行剪切处理,剪切量等于局部运动矢量估计时的子块搜索最大范围。

## 4 仿真实验

为验证方法的准确性,实验首先选取了人工合成的视频片断(大小为  $300 \times 400$ ,共 50 frames,第 2 frame 如图 3(a)),其中在第 3、第 15、第 28 和第 42 frame 人为加入了  $(-2, -4)$ 、 $(3, 3)$ 、 $(2, 4)$  和  $(-4, -4)$  像素的平移偏移矢量,选取的子块分别为螺丝刀、线圈架和笔记本所在区域。

实验结果表明,当前帧与参考帧各子块的边缘匹配最大相关值及运动矢量如表 1 所示。可以看出,稳像准确度达到 100%,完全补偿了视频抖动,并且由于在子块边缘匹配过程中,参与匹配相关运算的像素仅为边缘值,因此运算速度快,单帧运算平均时间约为 32 ms,满足实时性要求。

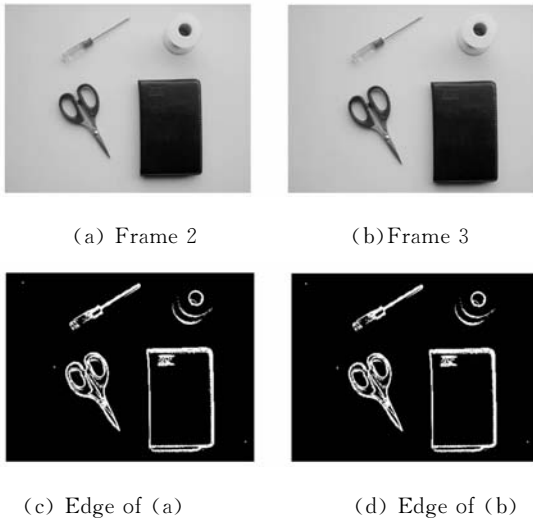


图 3 人工合成视频及其形态学边缘  
Fig. 3 Synthesized frames and their morphological edge images

表 1 各帧实际偏移量和实验偏移补偿量对比

Tab. 1 Comparison between real offset and detected offset

Frame	Real offset	Matching globe motion		precision
		offset	vector	
3	(-2, -4)	(-2, -4)	(2, 4)	100%
15	(3, 3)	(3, 3)	(-3, -3)	100%
28	(2, 4)	(2, 4)	(-2, -4)	100%
42	(-4, -4)	(-4, -4)	(4, 4)	100%

为证明方法的有效性,实验又选取了一段实际现场采集的抖动视频共 60 frames(大小为 288 × 384,如图 4),该视频图像中包含运动目标,低对比度区域和纹理区域。

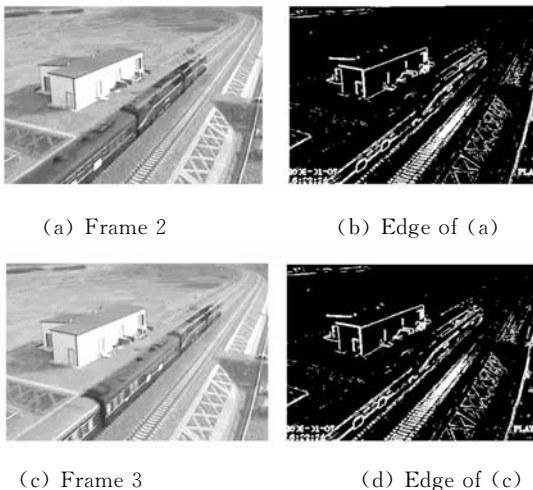
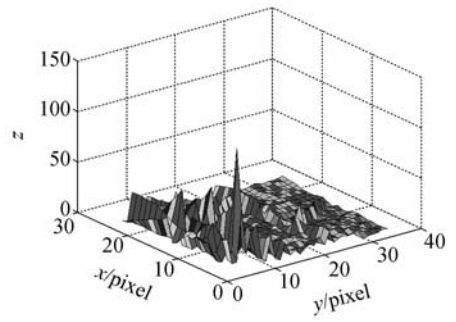
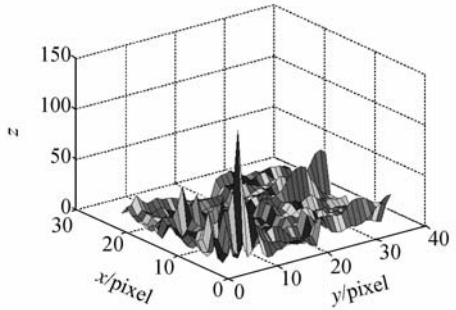


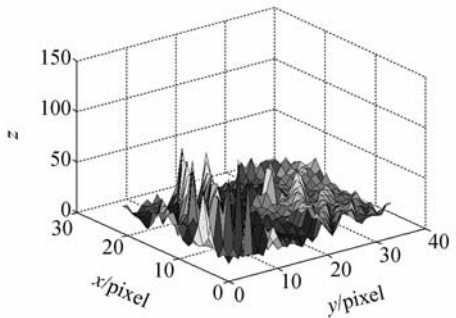
图 4 实际抖动视频帧及其对应的形态学边缘  
Fig. 4 Frame and corresponding morphological edge images



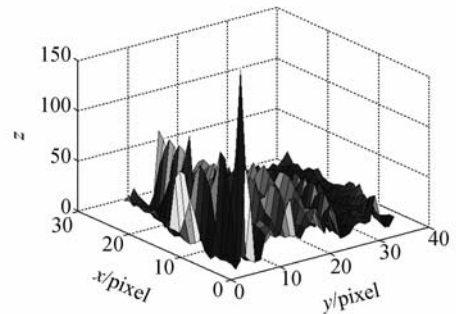
(a) block 1



(b) block 2



(c) block 3



(d) block 4

图 5 子块边缘匹配相关分布

Fig. 5 Edge matching correlation distribution of each block

实验选取了 4 个子块作为候选匹配区域(如图 4(b)),各子块边缘匹配相关分布如图 5(搜索范围参数  $p=10, q=15$ ),可以看出,子块 1 边缘匹配的最大相关值为 137,  $V_1' = (-2, -4)$ ,子块 2 最大相关值为 63,  $V_2' = (-2, -4)$ ,相应的子块 3 和 4 的最大相关值分别为 111 和 200,  $V_3' = (-2, -4)$  和  $V_4' = (-2, -4)$ 。预设  $C_{TH1}$  和  $C_{TH2}$  分别取  $C_{avg}$  的 2 倍和 3.5 倍,  $C_{TH3}$  为  $C_{avg}$  的 3 倍,  $C_{TH4}$  取  $C_{avg}$  的 0.5 倍。经过计算判决子块 3 存在移动目标,因此  $a_3=0$ ,这与视频帧中火车运动吻合。其余判断结果  $a_1=a_2=a_4=1$ ,即子块 1、2、4 估计的局部运动矢量参与全局运动矢量的估计。由于  $V_1', V_2'$  和  $V_4'$  均为  $(-2, -4)$ ,因此全局运动矢量估计  $V_g' = (-2, -4)$ ,以此对当前帧进行补偿,即可实现稳像,后续帧的处理重复以上过程即可输出稳定视频序列。

## 参考文献:

- [1] HSU S C, LIANG S F, LIN C T. A robust digital image stabilization technique based on inverse triangle method and background detection [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2005, 51 (2):335-345.
- [2] 赵红颖, 全宏, 熊经武. 电子稳像技术概述[J]. *光学精密工程*, 2001, 9(4):353-359.
- ZHAO H Y, JIN H, XIONG J W. Overview of the electronic image stabilization technology [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001, 9(4):353-359. (in Chinese)
- [3] 孙辉. 快速灰度投影算法及其在电子稳像中的应用 [J]. *光学精密工程*, 2007, 15(3):412-416.
- SUN H. Fast gray projection algorithm and its application [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15 (3): 412-416. (in Chinese)
- [4] HSU S C, LIANG S F, FAN K W, et al.. A robust in-car digital image stabilization technique [J].

## 5 结 论

提出了一种基于形态学边缘模式匹配的数字稳像方法,该方法首先利用形态学方法检测视频图像边缘,然后利用当前帧子块与参考帧子块的边缘进行特征匹配,确定当前帧子块相对于参考帧的局部运动偏移量。同时对局部运动矢量进行分析判决,消除视频帧本身因存在局部运动目标、低对比度、纹理区域等异常情况对全局运动矢量的影响,最后通过判别确认的局部运动矢量确定全局运动矢量并进行运动补偿。由于该方法的块局部运动矢量采用 1 bit 边缘进行最大相关值估计,因而复杂度低,同时,采用异常情况判决准则,消除了其对真正运动矢量估计的影响,稳像精度较高,实际效果良好。本方法可应用于因摄像头平移震动等因素(摄像机旋转角度较小情况下)造成的视频序列失稳。

*IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, 2007, 37(2):234-247.

- [5] BOMBINI L, CERRI P, GRISLERI P, et al.. An evaluation of monocular image stabilization algorithms for automotive applications [C]. *Proceedings of the IEEE ITSC 2006, Conference IEEE Intelligent Transportation Systems, Toronto, Canada*, 2006:1562-1567.
- [6] KO S J, LEES H, JEON S W. Fast digital image stabilizer based on gray-coded bit-plane matching [J]. *IEEE Trans. Consumer Electronics*, 1999, 45 (3):598-603.
- [7] PARIK J K, PARK Y C, KIM D W. An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching [J]. *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, 1992, 38(3):607-616.
- [8] ZHANG Y J. *Image Engineer (II)-Image Analysis (Second Edition)* [M]. Beijing: Tsinghua University, 2005. (in Chinese)

- [9] KO S J, LEE S H, LEE K H. Digital image stabilization based on bit-plane matching [J]. *IEEE*

*Transactions on Consumer Electronics*, 1998, 44 (3):617-622.

#### 作者简介:



王小鹏(1969—),男,甘肃正宁人,博士,副教授,研究方向为图像分析与识别、多媒体信息处理等。E-mail: wangxp1969@sina.com

闫国梁(1981—),男,山西大同人,硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理。E-mail: yglsgd@126.com

裴建刚(1984—),男,河北邯郸人,硕士研究生,研究方向为图像处理与分析、DSP等。E-mail: peijg1984@126.com

晏鑫(1984—),女,河北保定人,硕士研究生,主要研究方向为图像处理与分析。E-mail: sherry\_123@163.com

#### ● 下期预告

## 列车车轮踏面缺陷图像区域提取

赵勇,方宗德,田丽丽

(西北工业大学机电学院,陕西西安710072)

建立了基于机器视觉的踏面缺陷检测系统,对该系统中踏面缺陷图像区域提取技术进行了研究。首先,采用基于平稳小波自适应阈值算法提取踏面区域。然后,根据踏面剥离缺陷图像特征,利用基于分块思想的粗定位和精定位组合的方法提取剥离图像区域。最后,根据踏面擦伤缺陷图像特征,利用基于踏面边缘线扫描搜索擦伤区域的方法提取擦伤图像区域。实验结果表明:系统对剥离和擦伤两种缺陷的漏识率分别为8.3%和5.3%,误识率为5.1%,从而为后续特征提取和缺陷识别奠定了基础。