

各向异性光流法的目标边缘检测

张钟汉¹, 孔浩冉²

(1. 西安电子科技大学 理学院 陕西 西安 710071; 2. 四川大学 数学学院 四川 成都 910049)

摘要: 光流法是在图像序列中对二维物体的运动矢量估计,用经典的 HS 算法计算时,目标与背景对比度小或有噪声将导致较大的虚警概率。而运用各向异性高斯核,运用非极大抑制条件,可以较好的抑制噪声,同时也保留了目标边缘,进而提高了梯度偏导的准确度。较好地解决了微分光流法的不足,从而提高了计算精度。最终对序列图像中动目标的边缘检测进行了方法改进, Gabor 函数的替换以及实验表明算法的有效性。

关键词: 光流法; Horn-Schunck 算法; 各向异性高斯核; 非极大抑制; Gabor 函数; 边缘检测

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2012)02-0104-07

0 引言

视频图像序列中的动目标检测包括^[1]: 帧间差分、背景差分和光流法。其中,帧间差分相对数据量小,但目标易拉长形成空洞^[2];在背景已知下,背景差分可以最大限度的提取目标信息,但实际中背景更新将消耗巨大的计算量;光流法能够把计算得到的二维运动矢量即光流,作为判别目标运动的重要特征,但如果目标与背景图像的对比度小或噪声加剧时,单纯从图像灰度强度出发来探测目标的光流场方法将导致较大的虚警概率。

光流是指图像中灰度模式分布下的运动速度矢量,它利用像素灰度的时域变化和相关性来确定各自像素点的“运动”。光流的概念最早由 Gibson^[3]于 1950 年提出,自从 Horn、Schunck^[4]将二维速度场和灰度联系起来,建立光流基本约束方程后,获得广泛发展。Negal^[5]提出附加的光流性约束,使得光流场在沿着其梯度的垂直方向上的变化率最小。Wohn^[6]用多重局部约束和非线性平滑条件来计算图像序列的光流场。Terzopoulos、Hildreth^[7]提出了更好的有向平滑约束条件。Haralick^[8]将物体表面分割为多个小平面对每个小平有近似的运动,且在短时间内为常量,依据此思想得到了附加约束。Mukawa^[9]对基本等式作了更全面的考虑,加入了四项约束,第一项是 Horn 和 Schunck 出的整体平滑约束,第二项考虑了漫反射和光照随时间的变化,第三项和第四项引入光照的偏导数和原始图像灰度偏导数之间的约束关系。Bruhn, Weickert 和 Schnörr^[10]提出了全局加局部的方法,分别正则化第一项和第二项,给出了不同的参数选择条件,对不同类型的图像有一定的自适应性。

微分法光流又称为基于梯度的方法,基于光流的连续性假设,通过附加一定的约束条件,将光流的计算问题转化成数学上的极值问题。基于微分的方法可以快速提取边缘,但对于相近边缘和渐变边缘提取则不确定。边缘检测可划分为两类:通过寻找图像一阶导数中最大和最小值来检测边缘的方法;基于零穿越的方法,寻找图像二阶导数零穿越来寻边缘的方法,通常是 Laplacian 过零点或者非线性差分表示的过零点。但传统的基一阶、二阶微分算子的检测方法是噪声敏感的^[11-12]。而另外基于各向同性扩散的边缘检测,运用了自适应的核函数,可以很好的抑制噪声,但不可避免的带来了边缘的模糊效应。而本文利用各向异性高斯核来解决上述困境。

收稿日期: 2012-03-06

作者简介: 张钟汉 男 1984 年出生 硕士研究生

1 微分光流法

微分方法的典型代表有 Horn-Schunck^[4] 全局平滑法、Lucas-Kanade^[13] 局部平滑法和 Nagel^[5] 的有向平滑法。Horn-Schunck 的光流计算方法是在光流基本约束方程的基础上附加了全局平滑假设。Lucas 和 Kanade 提出了局部平滑的概念,认为某个窗口内的像素具有一致的运动。Nagel 采用有条件的平滑约束,通过加权矩阵对梯度进行不同的平滑处理。

图像序列中,用 $I(x, y, t)$ 表示图像的亮度, t 时刻的一个像素点 (x, y) 在 $t + d_t$ 时刻移动到点 $(x + d_x, y + d_y)$ 。假定亮度恒定即灰度不变,同一物体在不同时刻具有相同亮度值。

$$I(x, y, t) = I(x + d_x, y + d_y, t + d_t) \quad (1)$$

当 d_x, d_y, d_t 很小时,泰勒展开有

$$I(x + d_x, y + d_y, t + d_t) = I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} d_x + \frac{\partial I}{\partial y} d_y + \frac{\partial I}{\partial t} d_t + \dots \quad (2)$$

$$\frac{\partial I}{\partial x} d_x + \frac{\partial I}{\partial y} d_y + \frac{\partial I}{\partial t} d_t = 0 \quad (3)$$

两边同时除以 d_t , 运动矢量 (d_x, d_y) 转化为速度矢量 (u_x, v_y) 得到

$$I_x u_x + I_y v_y + I_t = 0 \text{ 或 } \nabla I^T V + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

式中, $V = (u_x, v_y)$, $\nabla I = \left[\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y} \right]^T$ 是 $I(x, y, t)$ 的空间梯度矢量。

I_x, I_y 表示图像平面相对 x, y 轴方向的光强变化, I_t 表示同一个像素点在相邻时刻的强度变化(连续图像上同一个像素点), $V = (u_x, v_y)$ 这里的 V 即是光流。光流是指表征一个连续图像强度变化的方向以及幅度的向量场,也可以理解成是带有灰度的像素点在图像平面运动产生的瞬时速度场。

$$E = \iint [(I_x u + I_y v + I_t)^2 + \alpha^2 (\| \nabla u \|^2 + \| \nabla v \|^2)] dx dy \quad (5)$$

为了解决孔径问题, Horn 和 Schunck^[4] 正则化的光流法,即为公式(5)中以下两条件:光流约束方程基本成立(即光流准则的误差很小);光流全局平滑(即相邻像素点的光流速度矢量基本不变)。参数 α 值越大表明整体光流越光滑。上述泛函的极小解问题,可用欧拉方程求解。

2 基于各向异性高斯核和 Gabor 函数的光流法

各向异性高斯核是对各项同性高斯核的拉伸、偏转,即对高斯核的仿射变换。同性高斯核在去噪同时会带来边缘模糊。利用图像梯度的方向性,使得在图像保边缘去噪声成为可能。Geusebroek, Smeulders 和 Weijer^[13] 给出了各向异性高斯核 $g_{\sigma\rho\theta}(x)$ 的快速算法,就是在原高斯核基础上引入参数各向异性参数 ρ, σ 为尺度参数,再作旋转变换 R_θ 。

$$g_{\sigma\rho}(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp \left(-\frac{1}{2\sigma^2} x^T \begin{bmatrix} \rho^2 & 0 \\ 0 & \rho^{-2} \end{bmatrix} x \right) \quad \rho \geq 1, \sigma > 0 \quad (6)$$

$$g_{\sigma\rho\theta}(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp \left(-\frac{1}{2\sigma^2} x^T R_{-\theta} \begin{bmatrix} \rho^2 & 0 \\ 0 & \rho^{-2} \end{bmatrix} R_\theta x \right) \quad R_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (7)$$

Peng Lang Shui, Wei Chuan Zhang^[14] 定义各向异性高斯方向梯度如下,其中, I^* 表示图像 I 与滤波器作卷积。

$$\frac{\partial I(x)}{\partial \theta} = I^* g'_{\sigma\rho\theta}(x) = I^* \left(-\frac{\rho^2 [\cos \theta \sin \theta] x}{\sigma^2} g_{\sigma\rho\theta}(x) \right) = I^* \frac{\partial g_{\sigma\rho\theta}(R_\theta x)}{\partial x} \quad (8)$$

$$g'_{\sigma\rho\theta}(x) = -\rho (x \cos \theta + y \sin \theta) \exp \left\{ -\left(\left(\rho \cos^2 \theta + \frac{\sin^2 \theta}{\rho} \right) x^2 + 2 \left(\rho - \frac{1}{\rho} \right) x y \sin \theta \cos \theta + \left(\rho \sin^2 \theta + \frac{\cos^2 \theta}{\rho} \right) y^2 \right) \right\} \frac{1}{2\sigma} \frac{1}{2\pi\sigma^2} \quad (9)$$

图 1 为 $\theta = i\pi/8$ $i = 0, \dots, 7$ $\sigma_y = 2\sigma_x$ ZonePlate 图像的 8 个方向的高斯核卷积后的结果,可以看出各向异性高斯核对图像具有明显的方向选择性。

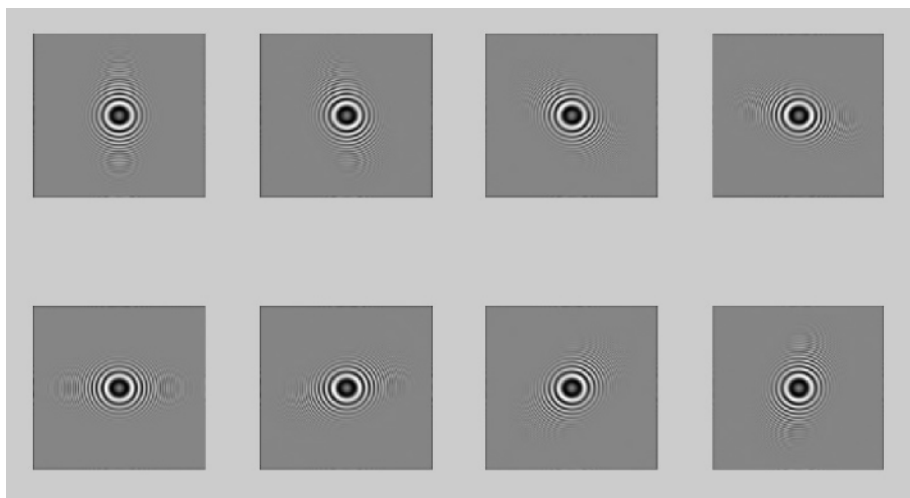


图 1 ZonePlate 图像八个方向的高斯核卷积

非极大抑制方法,沿幅角方向检测模值的极大值点,即边缘点遍历 P 个方向图像像素,把每个像素偏导值与相邻像素的模值比较,取其最大值为边缘点。即梯度的最大方向的法向为边缘切线方向。

图 2 为非极大抑制的示意图,算例中 $I(i+1, j+2)$ 和 $I(i+1, j)$ 间做一个线性内插点,即 $M2 = I(i+1, j+1)\tan\theta + I(i+1, j)(1-\tan\theta)$, $M1$ 同理。

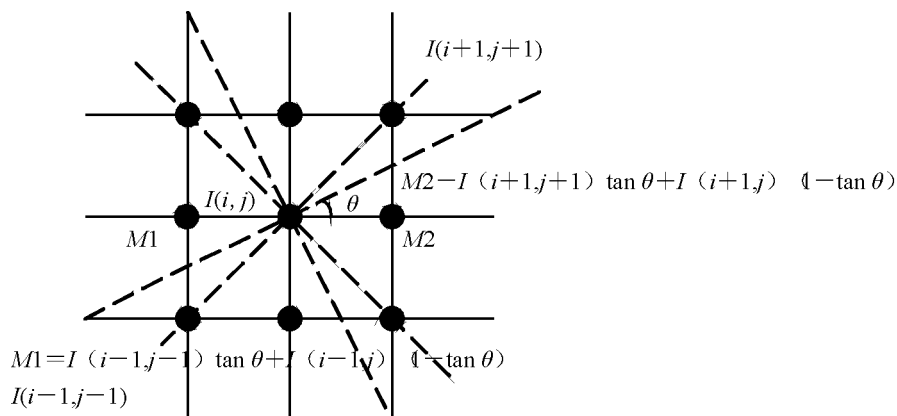


图 2 非极大抑制

各向高斯核卷积后,可以得到基于不同方向高斯核的图像梯度,分别比较每个像素点梯度模的大小,保留最大模值的图像像素点的梯度,从而提取出该方向上的最大梯度,即当高斯核方向与图像梯度一致时梯度最大,从而一定程度上排除了噪声的干扰。

文献[14]中推导证明边缘检测的噪声鲁棒性仅取决于尺度参数和阶梯边缘各向异性系数。结论是,基于各向异性高斯核的边缘强度图在一个大尺度和小比例尺度下的各向异性参数下是噪声不敏感的,同时保持高边缘检出率。

程序流程如图 3 所示,首先输入图像,取 N 个方向时,分别与各向异性的高斯核做卷积,再对卷积结果做非极大抑制,最后输出图像边缘图,为后续光流法做准备。

同理,可用 Gabor 函数来替换高斯核。高斯核仅在方向上进行选择,而 Gabor 函数可以在频率上进行选择。Gabor 函数是由椭圆形的高斯函数和复平面波的乘积组成,其二维表达式为

$$g_{\sigma\omega_0}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x\sigma_y}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \exp(j\omega_0(x+y))\right) \quad (10)$$

式中, σ 为高斯函数的标准差; ω_0 为复平面波的空间频率。Gabor 函数可以分解成奇函数 g^e 和偶函数 g^o

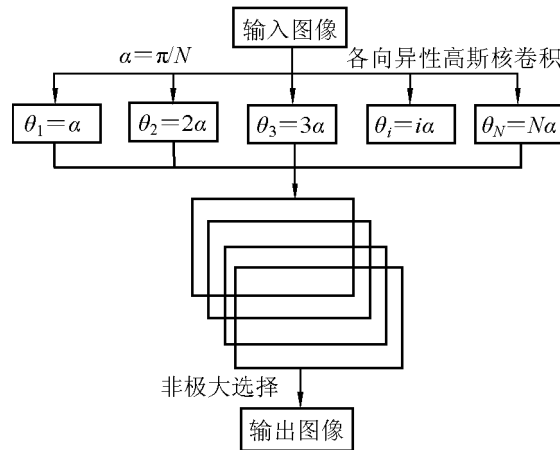


图3 程序流程

两部分。

$$\left. \begin{aligned} g_{\sigma \omega_0}^e(x, y) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x\sigma_y}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \sin(\omega_0(x+y))\right) \\ g_{\sigma \omega_0}^o(x, y) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x\sigma_y}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \cos(\omega_0(x+y))\right) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

当 $\sigma\omega_0 \cong 1$ 时, Gabor 奇函数具有很好的边缘检测性能^[15]。当图像的边缘特征方向与二维 Gabor 滤波纹理特征方向一致的时候, 响应输出较为强烈。通过修改 Gabor 函数的参数 $\sigma \omega_0$, 可以获得不同中心频率, 不同方向上的 Gabor 滤波器, 既可以提取到不同局部细节的纹理特征, 又能够提取全局性较强的特征, 同时减少噪声干扰^[16]。

3 实验仿真与结果分析

光流算法的评价需要用到合成序列图像中的真实光流, 因为只有合成序列图像的光流是易得的, 所以可以进行光流的定量分析。用下面的指标对所计算的光流误差进行分析, 设 $\vec{v}_e$ 为真实的运动向量, $\vec{v}_c$ 为计算所得的向量, 指标描述了计算值与真实值的偏离程度。评价指标如下:

单个角度误差

$$\psi_E = \arccos(\vec{v}_c^T \cdot \vec{v}_e) = \arccos\left(\frac{v_{c1}v_{e1} + v_{c2}v_{e2} + 1}{\sqrt{v_{c1}^2 + v_{c2}^2 + 1} \sqrt{v_{e1}^2 + v_{e2}^2 + 1}}\right) \quad (12)$$

平均角度误差

$$\bar{\psi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi_{Ei} \quad (13)$$

角标准差

$$\sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\vec{v}_c - \vec{v}_e)^2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(v_{c1} - v_{e1})^2 + (v_{c2} - v_{e2})^2]} \quad (14)$$

实验首先选取两组不同类型的帧图像, 一组为实际交通监视图像, 选取大小为 240×320 格式 gif 的图像; 另一组为 125×140 的 stone 图像, 图像整体平移 10 个像素。运用经典的 HS 方法作比较, α 参数设为 1, 迭代次数选为 100 次。

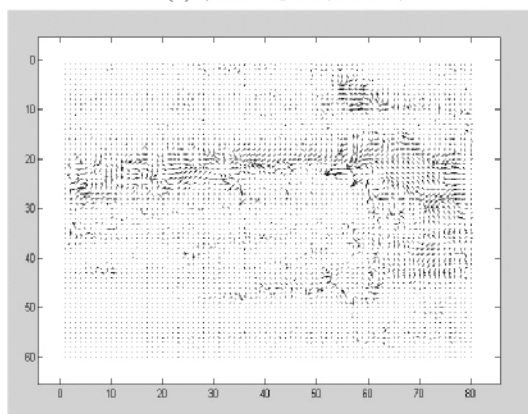
图 4(a) (b) 为交通监视两帧图像; 图 4(c) 图是 HS 算法得出的光流, 图 4(d) 图是各向异性高斯核光流法得出的光流。新闻中截取的一段视频序列, 图中公交向前右拐弯, 相对方向急速行驶一辆人力三轮车, 但图中显示十分模糊, 左上角方向开来一辆急速轿车, 图像中下方的文字新闻快报整体向右滚动播出。光流结果显示, 图 4(d) 中各向异性的方法对公交车的边缘处光流方向明显, 特别的图像下方的文字新闻快报可以看出整体移动方向, 而图 4(c) 中则显示边缘处无规则, 文字新闻细节表现不明显。



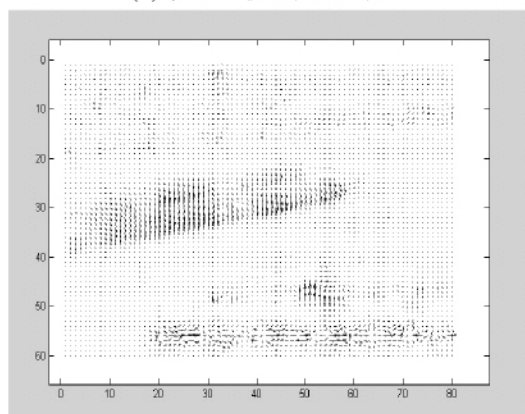
(a) 交通监视图像第一帧



(b) 交通监视图像第二帧



(c) HS 光流法



(d) 各向异性高斯核光流法

图 4 交通监视图像实验结果

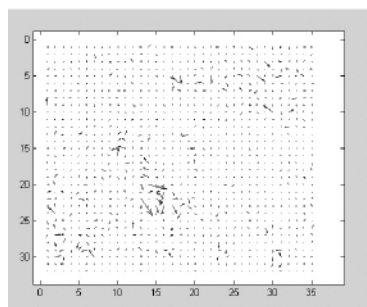
图 5(a) (b) 分别为 stone 两帧图像; 图 5(c) 图是 HS 算法得出的光流; 图 5(d) 图是各向异性光流法得出的光流图; 图 5(e) 图是 Gabor 函数滤波下, 非极大抑制的光流法得到的光流图。



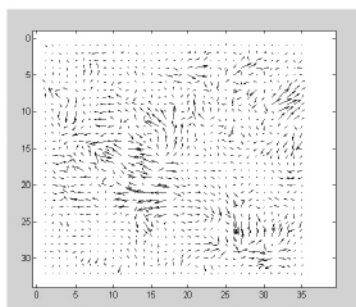
(a) stone 图像第一帧



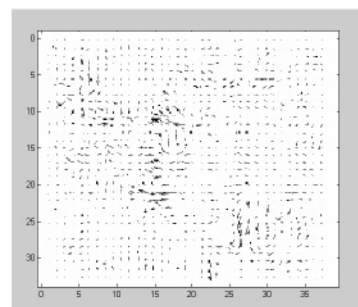
(b) stone 图像第二帧



(c) HS 算法光流



(d) 各向异性高斯核光流



(e) 各向异性 Gabor 光流

图 5 合成图像试验结果

光流评价结果列于表 1, 高斯核光流法和 Gabor 光流法没有进行非极大抑制, 仅选取一个方向的。各向异性的方法分别选取了 8 个方向, 而后进行非极大抑制选取, 结论显示各向异性光流综合指标好于前者, 各向异性的光流整体稳定, 细节表示充分。

表 1 光流评价

Stone 序列	平均角度误差	角标准差	耗时比率
HS 光流法	1.612 5	14.740 1	1
高斯核光流法	1.502 3	13.240 9	1.11
Gabor 光流法	1.487 6	12.321 8	1.27
各向异性高斯核光流法	1.471 4	10.000 3	1.32
各向异性 Gabor 光流法	1.465 9	9.994 8	1.47

4 结语

根据光流法的理论不足, 即产生孔径效应、噪声敏感和光照强度变化会引起光流计算的不准确、奇异性等问题, 本文利用了各向异性高斯核的方法, 采用非极大抑制的策略, 对梯度进行了方向选取, 在保证目标边缘提取率的同时, 抑制了噪声影响, 有效提高了基于微分法的图像光流精度。而各向异性的 Gabor 光流法, 同时对方向和频率进行选择, 具有一定的时频选择性。

Gabor 函数是局部的频率分析, 并不适合用来描述特征, 因为它的空间域窗口和频率域窗口的宽度都是固定的, 所以为了达到在不同的尺度上检测 and 定位特征的目的, 可以设想用具有变化支撑的滤波器, 也就是说, 随着信号频率的增高, 时窗宽度变窄, 而频窗宽度变大, 有利于提高时域的分辨率, 反之亦然, 类同与小波变换的性质, 可作为后续的工作开展。

参 考 文 献

- [1] Hu Weiming, Tan Tieniu, Wang Liang. A Survey on Visual Surveillance of Object Motion and Behaviors [J]. IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics: Part C, 2004, 34(3): 334-352.
- [2] 陈赛东, 马影, 马增强. 一种基于摄像机标定的车辆视频测速方法 [J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2010, 23(3): 81-85.
- [3] Gibson J J. The perception of the visual world [M]. Boston: Houghton Mifflin, 1950.
- [4] Horn B K P, Schunck B G. Determining optical flow [J]. Artificial Intelligence, 1981, 17: 185-203.
- [5] Nagel H H, Enkermann W. An investigation of smoothness constraints for the estimation of displacement vector fields from image sequences [J]. IEEE Trans, 1986, PAMI-5: 565-593.
- [6] Wohn K, Divis L S, Thrift P. Motion estimation based on multiple local constraints and nonlinear smoothing [J]. Pattern Recognition, 1983, 16(6): 563-570.
- [7] Terzopoulos D. Regularization of inverse visual problems involving discontinuities [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(4): 413-424.
- [8] Ye M, Haralick R M, Shapiro L G. Estimating piecewise-smooth optical flow with global matching and graduated optimization [J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(12): 1625-1630.
- [9] Mukawa N. Estimation of shape, reflection coefficients and illuminant direction from image sequences [J]. Computer Vision, Proceedings on Third International Conference, 1990, 12: 507-512.
- [10] Bruhn A, Weickert J, Schnerr C. Lucas/Kanade meets Horn/Schunck: Combining Local and Global Optic Flow Methods [J]. International Journal of Computer Vision, 2005, 61(3): 211-231.
- [11] Marr D, Hildreth E. Theory of edge detection [C]//Proceedings of the Royal Society. London: Royal Society Publishing, 1980: 187-217.
- [12] Prewitt J M S. Object enhancement and extraction [C]//Picture Processing and Psychopictorics. New York: Academic Press, 1970: 75-149.
- [13] Geusebroek Jan-Mark, Smeulders Arnold W M, Van de Weijer Joost. Fast anisotropic Gauss filtering [J]. IEEE Transaction on image processing, 2003, 12(8): 938-943.
- [14] Shui Penglang, Zhang Weichuan. Noise-robust edge detector combining isotropic and anisotropic Gaussian kernels [J]. Pattern

Recognition, 2012, 45(2): 806-820.

[15] Elgammal A, Harwood D, Davis L. Non-parametric Model for Background Subtraction [C]// Proceeding of the 6th European Conference on Computer Vision, Dublin, Ireland: Springer Press, 2000: 751-767.

[16] 梁晓霞, 封筠. 基于 Gabor 变换和灰度梯度共生矩阵的人耳识别研究 [J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2011, 24(1): 78-83.

Target Edge Detection of Optical Flow via Anisotropic Gaussian Kernel

Zhang Zhonghan¹, Kong Haoran²

(1. School of Science, Xidian University, Xi'an, Shanxi, China;

2. Mathematical College, SiChuan University, Chengdu, SiCuan, China)

Abstract: Optical flow method is to estimate the movement of 2 d objects in image sequences. With classic HS algorithm, the smaller contrast between target and background or higher noise will lead to larger false-alarm probability. The use of anisotropic gaussian kernel, with the non-maximum suppression, can better suppress noise while retaining the target edge, and thus improving the accuracy of the gradient partial derivative. It is a better solution for the lack of differential optical flow method and improves the calculation accuracy. Finally, the edge detection method of moving targets in the sequence of images is improved, and the effectiveness of the algorithm is proved through the replacement of the Gabor function and experiments.

Key words: optical flow; horn-schunck algorithm; anisotropic gaussian kernel; non-maximum suppression; Gabor function; edge detection

(责任编辑 刘宪福)

(上接第 93 页)

The Effect of Local Laser Surface Treatment on Fatigue Properties of 7075 Aluminum Alloy

Yu Shenwei¹, LiJian², Fang Min², Qi Fangjuan²

(1. CRS Nanjing Puzhen Rolling Stock Co., Ltd, Nanjing 210000, China;

2. Institute of Materials Science and Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: 7075 aluminum alloy is widely used in the industries of vehicles for its unique performance, but it has a poor fatigue properties after welding, which may produce a negative effect to the safety of vehicles. Thus, a method to improve the fatigue property for 7075 aluminum alloy by local laser surface treatment (LLST) is studied in this paper. Based on experimental results of the fatigue crack growth rate (FCGR) for the laser treated specimens and untreated specimens, it is shown that LLST can result in significant reduction of FCGR, and thus improve the fatigue life. The residual stress analysis based on ANSYS procedure and hardness test show that the residual stress and partly softening phenomenon are the main reason for the reduction of FCGR.

Key words: 7075 aluminum alloy; local laser surface treatment; fatigue properties; finite element method

(责任编辑 车轩玉)