

# 一种结合梯度锐化和重心法的光条中心提取算法

李中伟 王从军 史玉升

(华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室, 武汉 430074)

**摘要** 在基于线结构光的视觉测量系统中, 激光条纹中心位置的准确提取是影响系统精度的关键因素之一。本文分析了光条中心提取算法的研究现状, 并比较了现有算法的优缺点, 提出了一种结合梯度锐化和重心法的光条中心提取算法, 该算法首先利用梯度锐化提取出光条的边缘, 根据提取出的边缘得到光条的近似中心, 然后在光条近似中心左右的小区域内利用重心法提取光条中心。实验结果表明, 该算法能够准确地提取出光条中心, 具有很强的抗噪声能力, 精度为亚像素级。

**关键词** 图像处理 光条中心 梯度锐化 重心法

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)01-0064-05

## An Algorithm for Detecting Center of Structured Light Stripe Combining Gradient Sharpening with Barycenter Method

LI Zhong-wei, WANG Cong-jun, SHI Yu-sheng

(State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of  
Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** In structured-light vision system, the accuracy of laser stripe center position is one of the main factors that influences the system accuracy. It analyzes current situation of algorithm for detecting the Center of Structured Light Stripe and compares advantages and disadvantages between current algorithms. We put forward a new algorithm to detect the Center of Structured Light Stripe combining gradient sharpening with barycenter method which firstly extracts fringe using gradient sharpening, secondly gets quasi-center of Structured Light Stripe, lastly attains the Center of Structured Light Stripe with barycenter method. Experiment results indicate this algorithm can extract Center of Structured Light Stripe accurately, it is of strong anti-noise capability and its accuracy is at sub-pixel level.

**Keywords** image process, center of structured light stripe, gradient sharpening, barycenter method

## 1 引言

基于线结构光的视觉测量系统以带有激光条纹的数字图像为信息源, 通过适当的处理检测出激光条纹的中心位置信息, 进而计算物体表面的 3 维信息<sup>[1]</sup>。因此, 获取激光条纹中心的准确位置信息是结构光视觉检测中一个非常重要的任务。在拍摄图像时, 由于现场光源复杂、CCD (charge coupled de-

vice 电荷耦合器件图像传感器) 内部产生的热噪声和电噪声、图像采集卡本身和信号在电子电路传输过程中带来的随机噪声, 以及被测面的不同的颜色、粗糙度、材质所体现出的漫反射性能的差异, 给提取激光条纹中心带来了困难。

## 2 研究现状分析

确定光条中心的常用方法有极值法、阈值法、重

基金项目: 国家“十一五”装备零部件再制造技术 (513270102)

收稿日期: 2006-06-14 改回日期: 2006-09-01

第一作者简介: 李中伟 (1981~), 男, 华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室博士研究生。主要从事逆向工程、机器视觉、数字图像处理方面的研究。E-mail: lizhongwei226@gmail.com

心法等。极值法以光强最大的点作为光条中心; 阈值法是以阈值大于等于一定值的左右两像素为起始点和结束点, 二者的平均位置为光条中心; 重心法首先采用极值法找到最大值位置, 然后取此位置左右各  $k$  点, 求这  $k+1$  点的重心, 即认为是光条中心。这类方法受单个像素灰度值的影响, 尤其是光条上噪声的影响非常大。重心法精度较高, 但由于它是在极值法的基础上的改进方法, 故它对噪声也极为敏感<sup>[2]</sup>。

文献 [2] 提出采用自适应阈值的光条中心提取方法与 1 维、2 维光刀数据修补技术相结合的方法来提取光条中心, 该方法有很好的抗噪声能力, 提取精度也较高, 但是采用自适应阈值的光条中心提取法提取出的光条中心存在断线, 通过数据修补后虽然可以得到连续光顺的线条, 但是修补后的线条和实际光条中心会有误差。文献 [3] 提出一种结合阈值法与可变方向模板法的结构光条纹中心快速提取算法, 该算法充分发挥阈值法和可变方向模板法<sup>[4]</sup>的优点, 先计算激光条纹灰度阈值, 再结合像素的灰度邻域属性实时确定激光条纹, 然后用可变方向模板检测激光条纹中心。这种方法具有数据存储量小、实现速度快的特点, 而且还有抗白噪声能力和一定的修补断线能力, 但是精度为像素级, 不符合本系统的要求。文献 [5] 利用 Hessian 矩阵得到图像中光条纹的法线方向, 然后求法线方向上的极值点得到光条纹中心线的亚像素位置。该方法具有精度高, 鲁棒性好等优点, 广泛应用于文字识别, 航拍图像或卫星图像中的道路识别, 以及医学图像中血管、骨骼的提取等领域。该算法的主要缺点是运算量大, 很难实现结构光条纹中心线的快速提取, 难以满足实时性要求较高的应用场合。文献 [6] 将 Hessian 矩阵法与阈值法结合, 提出了算法的改进方法, 很大程度上减小了算法的运算量, 处理速度达到 15 幅/s。本文实验所用的 3 维激光扫描仪的拍摄频率为 30 帧/s, 该算法不能满足系统的实时性要求。

HRE 型三坐标激光扫描系统中, 采用了结合图像最佳阈值和重心法的光条中心提取算法<sup>[7]</sup>, 该算法的具体过程如下:

- (1) 据迭代求图像最佳分割阈值的方法求出图像的最佳阈值  $T$ ;
- (2) 令图像中灰度值小于  $T$  部分的灰度值变成 0 而大于  $T$  部分的灰度值保留;
- (3) 每一行中灰度值不为 0 的部分即为光条上

的点, 利用这些点采用重心法求取该行的光条中心:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=m}^n i(f_i - T)}{\sum_{i=m}^n (f_i - T)} \quad (1)$$

其中,  $f_i$  为该行第  $i$  列像素的灰度值;

利用这种方法得到的光条中心是亚像素级的, 而且由于采用了图像最佳分割阈值, 对随机噪声也起到了一定的抑制效果。该算法在图像背景较暗的情况下具有很好的效果, 但是当背景中存在一些较亮的反光时, 阈值分割后的图像中有背景噪声, 提取的光条中心会发生偏移。该算法的结果如图 1 所示 (当提取的光条中心为亚像素级时, 中心点坐标非整数, 不能直接显示, 本文为了直观的表达算法的运算结果, 将提取的亚像素级中心点坐标取整显示)。

通过上述两组测试, 得出以下结论: HRE 系统中采用的结合最佳阈值和重心法的提取算法, 在环境光较暗的情况下, 运算速度快, 中心提取精度高, 但是在环境光较亮的情况下受到环境噪声的影响非常严重, 算法的稳定性差。

为了减小环境光对测量精度的影响, 本文提出了一种结合梯度锐化和重心法的光条中心提取法。

### 3 结合梯度锐化和重心法的中心提取算法

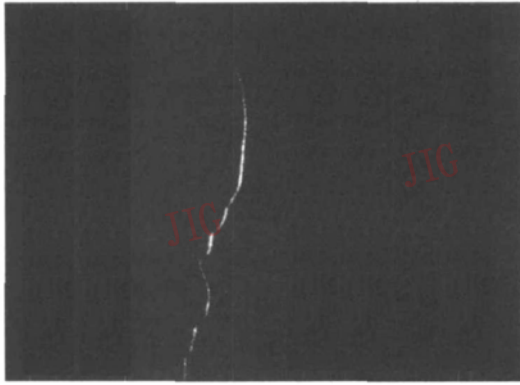
图像的局部边缘定义为两个强度明显不同的区域之间的过渡, 图像的梯度函数即图像灰度变化的速率将在这些过渡边界上存在最大值。因此, 通过基于梯度算子或一阶导数的检测器来估计图像灰度变化的梯度方向, 增强图像的这些变化区域, 然后对该梯度进行阈值运算, 如果梯度值大于给定门限, 则存在边缘。

一阶微分是图像边缘和线条检测的最基本方法<sup>[8]</sup>。图像函数  $f(x, y)$  在点  $(x, y)$  处的梯度矢量为

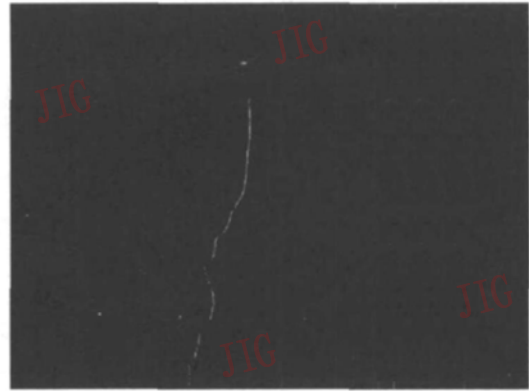
$$\mathbf{G}[f(x, y)] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2)$$

梯度有两个重要的性质:

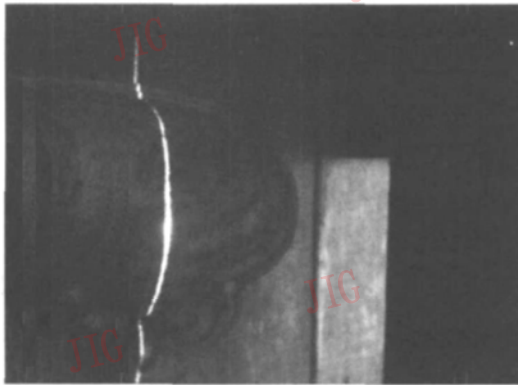
- (1) 梯度的方向在函数  $f(x, y)$  最大变化率方向上;
- (2) 梯度的幅值用  $G[f(x, y)]$  表示, 其值为



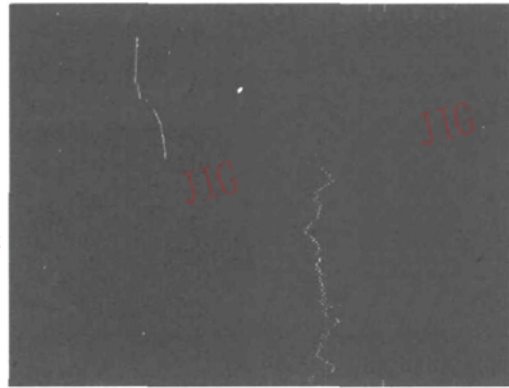
(a) 背景较暗时的原始图



(b) 结合最佳阈值和重心法提取的光条中心



(c) 背景较亮时的原始图



(d) 结合最佳阈值和重心法提取的光条中心

图 1 现有算法的处理结果

Fig 1 Result of existing arithmetic

$$G[f(x, y)] = \sqrt{\left|\frac{\partial}{\partial x}\right|^2 + \left|\frac{\partial}{\partial y}\right|^2} \quad (3)$$

所有基于梯度的边缘检测器之间的根本区别是算子应用的方向, 以及在这些方向上逼近图像 1 维导数的方式和将这些近似值合成为梯度幅值的方式。

对于离散的数字图像, 可将图像的一阶差分直接替代图像函数的偏导数, 式 (3) 改写为

$$G[f(x, y)] = \sqrt{[f(x, y) - f(x + 1, y)]^2 + [f(x, y) - f(x, y + 1)]^2} \quad (4)$$

为了计算方便, 也可以采用下面的近似计算公式:

$$G[f(x, y)] \cong |f(x, y) - f(x + 1, y)| + |f(x, y) - f(x, y + 1)| \quad (5)$$

通常也可以近似为下面两种形式:

$$G[f(x, y)] = \sqrt{[f(x, y) - f(x + 1, y + 1)]^2 + [f(x + 1, y) - f(x, y + 1)]^2} \quad (6)$$

$$G[f(x, y)] \cong |f(x, y) - f(x + 1, y + 1)| + |f(x + 1, y) - f(x, y + 1)| \quad (7)$$

式 (6) 和式 (7) 称为罗伯特 (Roberts) 梯度, 本

文采用该梯度算子。

梯度锐化采用梯度值  $G[f(x, y)]$  来表示图像, 即令  $g(x, y) = G[f(x, y)]$ , 则由上面的公式可见: 在图像中光强变化缓慢的地方梯度值较小, 对应的图像较暗, 而在激光条纹的轮廓处, 光强变化快, 梯度值较大, 对应的图像较亮。

测量过程拍摄的包含有激光条纹的图像, 在经过梯度锐化后, 图像中的背景和一些大面积的反光, 由于图像灰度变化缓慢得到的图像很暗, 而激光条纹边缘光强变化很快, 会形成很亮的边缘。然后利用阈值变换就可以将激光条纹的边缘准确提取出来, 进而利用激光条纹的边缘得到光条的近似中心线, 在该中心线的左右各  $T$  ( $T = 20$  经验值) 个像素内利用重心法求取光条的准确中心线。

该算法的具体过程如下:

- (1) 梯度锐化, 提取激光条纹的边缘;
- (2) 阈值变换, 将图像二值化;
- (3) 计算光条的近似中心线;
- (4) 利用重心法求取激光条纹的中心。

### 4 实验结果

#### 4.1 提取光条中心

利用结合梯度锐化和重心法的光条中心提取法提取光条中心的流程如图 2 所示。

从图 2 中可以看出,本算法具有很强的抗噪声能力,实现了激光条纹中心的精确提取,提取精度为

亚像素级。

本算法在多关节激光 3 维扫描系统所使用的计算机(CPU: Pentium 4 3.0GHz RAM: 1G, OS WindowsXP SP2)上运行时,处理一幅图像的时间约为 0.02s,而系统在扫描物体时每秒钟采集 30 幅图像,采集图像的间隔为 1/30(0.033) s。因此,本算法可以保证在每次采集图像的时间间隔内处理完采集到的图像,可以满足系统实时处理的要求。

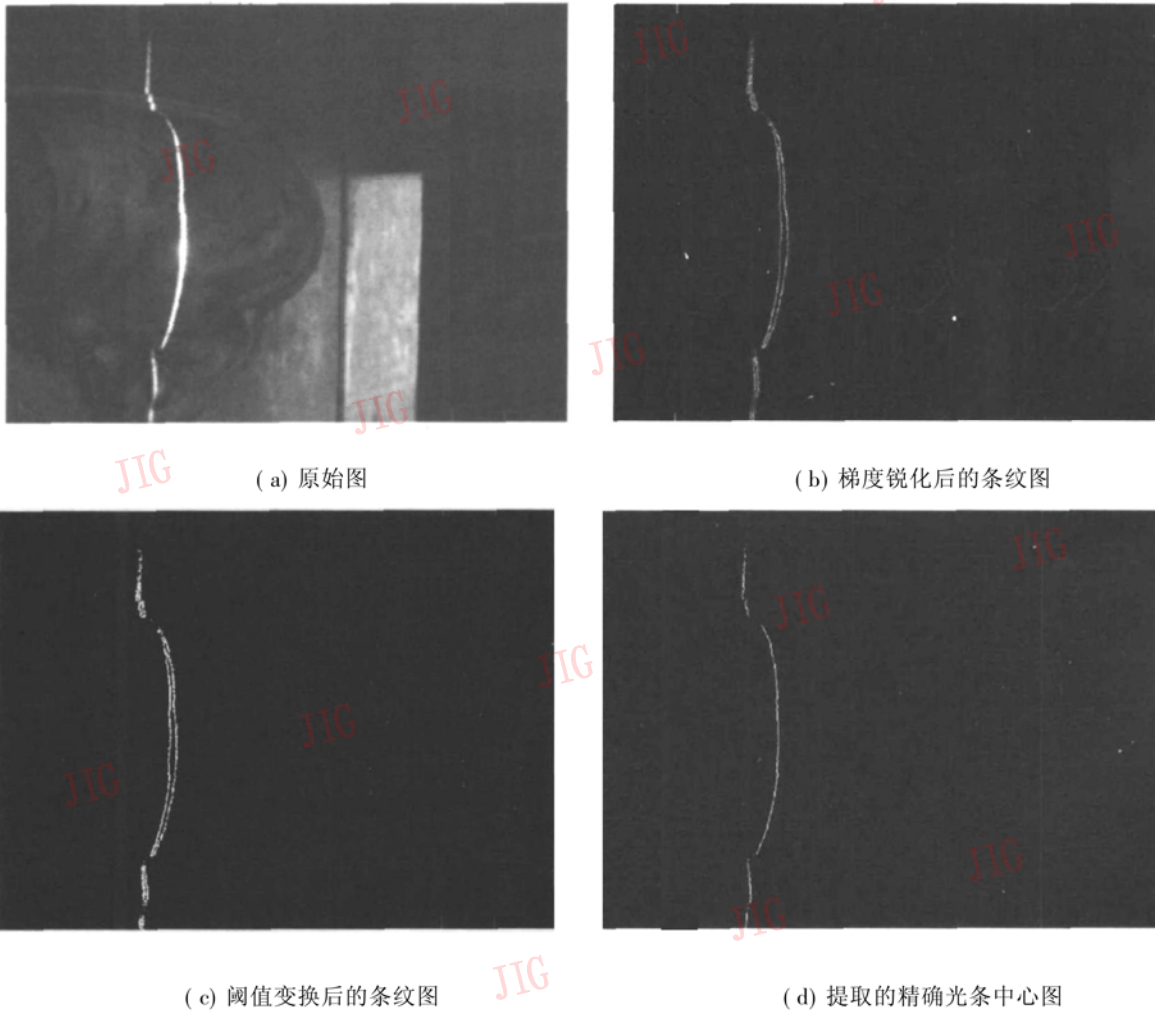


图 2 本文算法的处理结果

Fig 2 Result of author's arithmetic

#### 4.2 测量实体

为了进一步验证本文算法的效果,将其运用于正在开发的多关节激光 3 维扫描系统中,该系统的结构简图如图 3 所示。该系统具有 6 个旋转关节,采用单 CCD 线结构光扫描头,使用该系统扫描一个表面为复杂自由曲面的玩具汽车,得到的点云数据如图 4 所示。

从图 4 中可以看出,多关节激光 3 维扫描系统使用本文的光条中心提取算法后,扫描得到的数据特征完整、清晰,且噪音点极少。

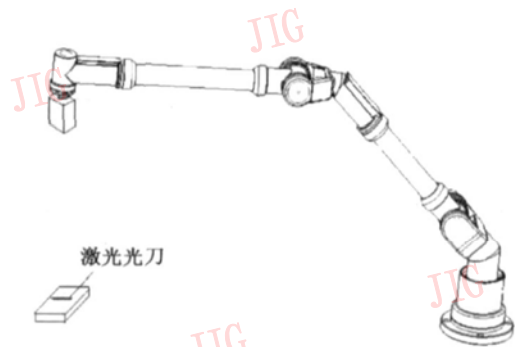


图 3 多关节激光 3 维扫描系统结构简图

Fig 3 The structure of multi joint laser 3D measurement system

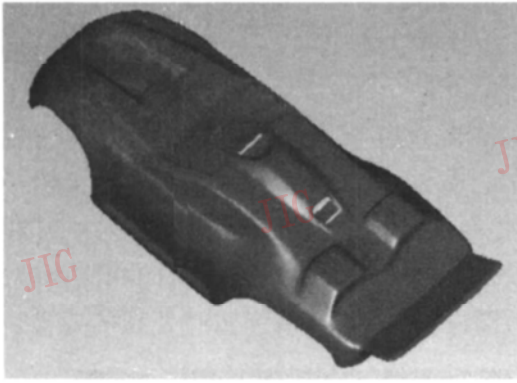


图 4 玩具汽车的点云数据

Fig 4 Scan data of auto toy

### 参考文献 (References)

- 1 He Jun-ji Zhang Guang-jun Study on method for processing image of strip in structured-light 3D vision measuring technique[ J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics 2003, 29( 7): 593~ 597. [贺俊吉, 张广军. 结构光三维视觉检测中光条图像处理研究方法研究[ J]. 北京航空航天大学学报, 2003, 29( 7): 593~ 597.]
- 2 Wu Jian-bo Zhao Hong Tan Yu-shan A novel solving method to the broken line problem of light-knife[ J]. Optical Technique 2001, 27( 2): 189~ 191. [吴剑波, 赵宏, 谭玉山. 一种解决光刀断线问题的新方法[ J]. 光学技术, 2001, 27( 2): 189~ 191.]
- 3 Lei Hai-jun Li De-hua Wang Jian-yong *et al* A method for fast detecting the center of structured light stripe[ J]. Journal of Hua Zhong University of Science & Technology (Nature Science Edition), 2003, 31( 1): 74~ 76 [雷海军, 李德华, 王建永等. 一种结构光条纹中心快速检测方法[ J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2003, 31( 1): 74~ 76.]
- 4 Hu Bin Li De-hua Jin Gang *et al* New method for obtaining the center of structured light stripe by direction template[ J]. Computer Engineering and Applications 2002, 11: 59~ 60 [胡斌, 李德华, 金刚等. 基于方向模板的结构光条纹中心检测方法[ J]. 计算机工程与应用, 2002, 11: 59~ 60.]
- 5 Steger C. An unbiased detector of curvilinear structures[ J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 1998, 20( 2): 113~ 125.
- 6 Hu Kun Zhou Fu-qiang A fast extraction method for sub-pixel center of structured light stripe[ J]. Electro-Optic Technology Application 2005, 20( 6): 60~ 63 [胡坤, 周富强. 一种条纹中心线快速亚像素提取方法[ J]. 光电技术运用, 2005, 20( 6): 60~ 63.]
- 7 Chen Chang-song Research on Key Technology of Three-Dimension Reconstruction in Commercial Reverse System. Master Dissertation [ D], Hua Zhong University of Science & Technology, 2004 [陈昌宋. 商品化的反求系统三维重建关键技术研究[ D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.]
- 8 Zheng Nan-ning Computer Vision and Pattern Recognition [ M ]. Beijing National Defence Industry Press 1998 [郑南宁. 计算机视觉与模式识别[ M ]. 北京: 国防工业出版社, 1998.]