

·信号与信息处理·

面向高光金属表面的激光三维检测算法

张磊,程筱胜,崔海华,戴宁,裴旭

(南京航空航天大学机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:针对激光三维检测过程中金属表面高光现象对后续检测带来的干扰问题,提出一种峰值连续性检测的方法。首先根据灰度图像的灰度信息提取每一列的灰度峰值;其次依据激光条纹连续性判断峰值信息的有效性,将有效峰值保留,去除干扰波峰,实现高光现象的去除;最后通过检测标准台阶块,对实验结果进行验证。结果表明,相对于一般细化处理的重建结果,高光处理后的重建精度可提高近50%,同时也证明了该方法的有效性。

关键词:测量;高光消除;峰值连续性检测;三维检测

中图分类号:TH741

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2013)-06-0044-05

Three-dimensional Laser Detection Algorithm for Highlight on Metal Surface

ZHANG Lei, CHENG Xiao-sheng, CUI Hai-hua, DAI Ning, PEI Xu

(College of Mechanical and Electrical, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Focusing on the interference problem of subsequent detection from highlight on metal surface in the process of 3D laser detection, a peak continuity detection method is proposed. Firstly, gray peak in each column is extracted according to the gray information in gray images. Then, the peak validity is estimated based on laser stripe continuity to remove false peak and maintain the valid, and the effect of highlight can be removed. Finally, experimental results are verified by detecting standard step block. The results show that the reconstruction accuracy after highlight processing is enhanced nearly 50% corresponding to the reconstruction results of common refinement treatment, and the validity of the method is verified.

Key words: measurement; highlight eliminating; peak continuity detection; 3D detection

在激光三维检测^[1-2]过程中,当激光条纹投射到漫反射的物体表面时,会产生稳定的光条纹;而投射到镜面反射^[3]的金属表面时,则会因为镜面反射导致相机过饱和,产生高亮反光,也就是所谓的高光现象。高光现象在金属表面检测时会时常发生,它严重影响了光条纹的形状,对后续的中心线提取及重建等操作产生影响。

由于高光现象对三维检测的影响,长期以来研究人员对高光现象的处理也做了大量的工作。M. Bertalmio等人根据高光区域周围的信息进行计算^[4],将计算结果填补到高光区域,该方法计算复杂、效率

低。Klinker根据两色反射模型^[5]对漫反射和高光像素进行分析,从而移除高光,该方法存在计算复杂不适合实时处理等不足。Y.Yoshinori等人提出一种偏振消光^[6]的测量方法,该方法消除强反光的同时会导致不反光区域的曝光不足,从而无法测量。激光三维检测过程中采集到的图像为灰度图像,仅包含灰度值信息,以上的几种方法在消除高光现象的同时也消除了图像中的有效信息。针对此问题,提出一种峰值连续性的方法对高光图像进行处理,正确提取光条纹的中心线,实现后续特征的检测。

收稿日期:2013-09-02

基金项目:江苏省数字化制造重点实验室开放课题基金

作者简介:张磊(1988-),男,山东枣庄人,硕士研究生,主要从事非接触式三维测量、机器视觉等方面的研究。

1 检测原理

激光三维检测的检测原理为光学三角法^[7]。图1所示为激光三维检测模型。激光条纹投射到被测物体表面,由于物体表面的形态不同,形成的激光条纹线的形状也不同。通过标定^[8]后的相机采集激光条纹线,即可根据光学三角原理求解出激光条纹在世界坐标系中的三维坐标,从而实现三维重建。式(1)所示为相机成像模型及光平面的方程。

$$\begin{cases} s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K[R|T] \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \\ ax_w + bx_w + cx_w + d = 0 \end{cases} \quad (1)$$

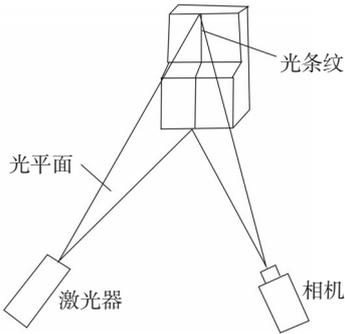


图1 激光三维检测模型

2 激光条纹中心线提取

图2所示为激光条纹打在光滑金属表面的原始图像。由图中可以看出,由于镜面反射的原因,在金属表面形成一些高光反光区。

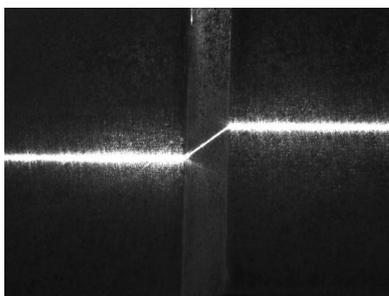


图2 金属表面高光图像

2.1 灰度图像分析

根据激光光条纹的分布情况,绘制灰度图像中具有代表性的第130、210、345、650列的像素灰度分

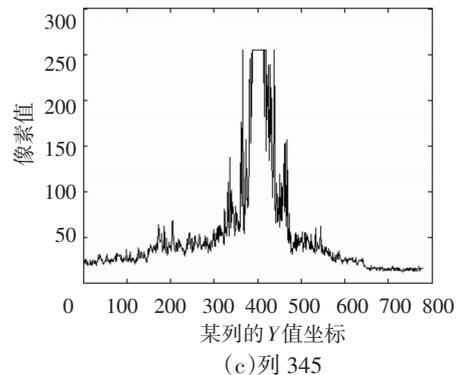
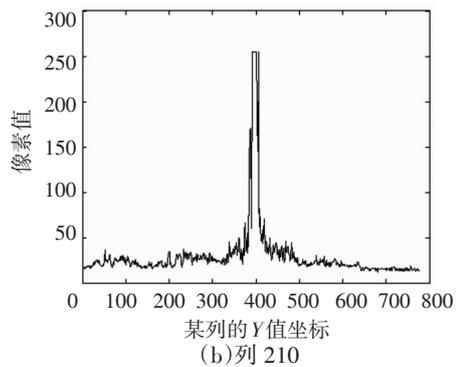
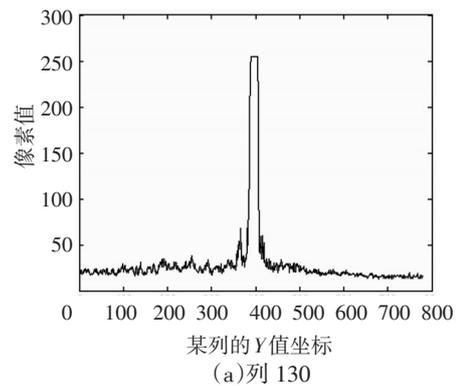
布图^[9](图中横坐标为像素列方向坐标,纵坐标为像素灰度值),如图3所示。由灰度分布图可知:

(1)图像中的每一列都是激光条纹处的像素灰度值远大于背景的灰度值,表现为明显的峰值,如图3所示。

(2)图像中未产生高光现象的列中,图像列方向的灰度分布图中仅有一个明显的峰值,如图3中列130所示。

(3)图像中产生高光现象的列中,图像列方向的灰度分布除了一个主峰外还有其他的一些波峰,这些波峰为次峰。图像列方向的多个峰值中仅有一个波峰为激光条纹,其余为干扰波峰。如图3中列345所示。

对于(2)中情况,通过提取峰值即可正确地提取激光条纹的中心;对于(3)中情况,必须去除掉干扰波峰的影响,才能正确地将激光条纹提取出来,实现



后续的重建等操作。

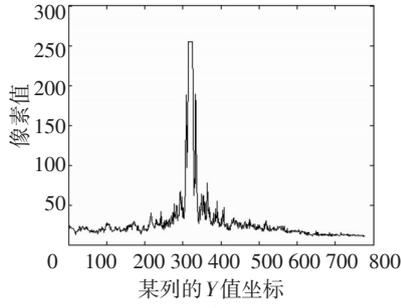


图3 图像列方向灰度分布图

2.2 图像预处理

对得到的原始图像进行滤波平滑处理^[10]。滤波后图像中的干扰噪声明显减少,图像列方向上干扰波峰被减弱,相应的主峰信息得到增强。

将滤波后的图像通过自适应阈值分割法^[11]进行阈值分割,确定图像的目标区域及背景区域。首先设灰度图像中灰度最大值和最小值分别为 G_{\max} 、 G_{\min} 。设初始分割阈值为

$$T_k = (G_{\max} + G_{\min})/2 \quad (2)$$

设定循环迭代次数 $K=0$ 。通过 T_0 分割图像

$$G(i, j) = \begin{cases} 1 & f(i, j) \geq T_0 \\ 0 & f(i, j) < T_0 \end{cases} \quad (3)$$

然后分别计算出前景和背景的平均灰度值 G_1 、 G_2

$$\begin{cases} G_1 = \sum G_1(i, j) / \sum \\ G_2 = \sum G_2(i, j) / \sum \end{cases} \quad (4)$$

再计算新的分割阈值, $T_{k+1} = (G_1 + G_2)/2$ 。如果 $|T_{k+1} - T_k| < 10$ 或者 $K > 50$, 结束迭代。否则 $K = K + 1$, 据计算出的 G_1 、 G_2 重新计算初始分割阈值, 再次进行图像分割。根据最后求出的阈值 T_K , 对图像进行阈值分割。

2.3 峰值连续性检测

通过平滑滤波、图像阈值分割的处理, 图像的背景和激光条纹被明显的区分出来。在灰度图像未产生高光现象处, 图像列方向的像素灰度分布图中仅有一个平顶波峰, 此波峰位置对应所求的激光条纹。在产生高光现象处, 图像列方向的像素灰度分布图中存在多个平顶波峰, 各个波峰对应的位置都可能是所求的激光条纹。计算图像列方向上各个波峰的面积, 面积最大的波峰为主峰, 其余为次峰。

一般情况下, 主峰所在位置即为激光条纹的位置。然而, 通过对高光反射现象进行分析发现, 随着光线的入射角度以及金属表面特征的不同, 金属表面所表现出来的高光现象也是多种多样的。因此, 主峰所在位置不一定为激光条纹的位置。基于此原因, 需要对列方向灰度信息中主峰对应的位置是否为激光条纹的位置进行检测。

列方向上每个波峰都对应一个相应的波峰中心。将中心上的各个点的坐标视为序列信号。激光条纹中心点与其空间邻域内的点具有相关性。判断波峰为激光条纹的连续性依据为

$$\begin{cases} |y_i - E_y| \leq \Delta y \\ E_y = l(x) \end{cases} \quad (5)$$

其中, y_i 为当前列每个波峰对应的中线位置, E_y 为当前列激光条纹中心线上前 n 点的像素坐标拟合的直线在该列的预测值, Δy 为当前条纹坐标与估计值之间可容许的误差值。

使用中心点前 n 点的坐标来拟合直线^[12] $y = kx + b$ 计算下一列激光条纹中心点的预测值 E_y , 可以通过求取二元函数 $F(k, b)$ 的最小值, 求取出方程系数。由极值必要条件可得

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial k} = \sum_{i=1}^n 2(kx_i + b - y_i) = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial b} = \sum_{i=1}^n 2x_i(kx_i + b - y_i) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

化简后可得

$$\begin{cases} nb + (\sum_{i=1}^n x_i)k = \sum_{i=1}^n y_i \\ (\sum_{i=1}^n x_i)b + (\sum_{i=1}^n x_i^2)k = \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{cases} \quad (7)$$

解得

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (8)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (9)$$

最后对主峰的有效性进行判断, 若主峰满足连续性要求, 则判定主峰为所求的激光条纹, 提取主峰中心点为激光条纹中心点坐标。若主峰不满足连续性要求, 判断次峰是否满足。次峰满足要求时, 提取

次峰中心点作为激光条纹中心点坐标。次峰也不满足要求时,判定主峰为所求激光光条。

图像当前列处理完毕以后,再对灰度图像中的下一列进行处理。依此类推,对整个灰度图像进行处理,提取所需激光条纹的中心。整个过程降低了高光现象产生的多个波峰对激光光条的干扰。

3 实验结果

如图4所示,图中上方的台阶为受高光影响的激光条纹直接提取中心点后的图像。如图所示,激光条纹中心线不够稳定,有大范围的断裂及干扰错误点。下方的台阶为采用峰值连续性检测的激光条纹中心线细化图像。如图所示,激光条纹相对稳定,干

扰错点较少。

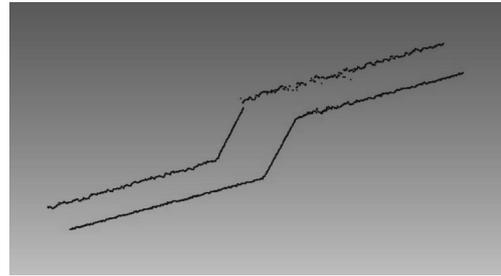


图4 激光条纹两次重建后图像

对两幅细化后的图像进行三维重建^[13-14],求取两次提取中心线后测得的台阶块的高度,验证算法精度,如表1所示。

表1 两次不同方法提取中心线后的重建结果

原图		细化后	三维重建后值	误差
	直接细化		5.154 4	0.154 4
	高光处理后细化		5.081 2	0.081 2

表2 不同角度采集的高光图像重建结果

5 mm 台阶块					
	原始图	直接细化重建结果	误差	高光处理重建结果	误差
第1组		5.163 6	0.163 6	5.117 8	0.117 8
第2组		5.201 3	0.201 3	5.122 2	0.122 2
第3组		5.157 8	0.157 8	5.090 8	0.090 8

表3 不同通光量下采集的高光图像重建结果

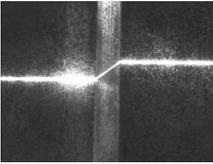
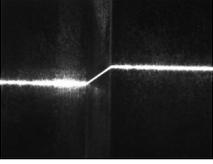
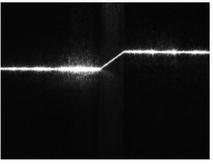
5 mm 台阶块					
	原始图	直接细化重建结果	误差	高光处理结果重建	误差
第1组		5.196 3	0.196 3	5.116 3	0.116 3
第2组		5.158 9	0.158 9	5.096 2	0.096 2
第3组		5.170 1	0.170 1	5.107 1	0.107 1

表2为对5 mm台阶块从不同镜面反射角度采集到的高光图像进行高光处理后的重建结果。

表3为调节不同的通光量的情况下,采集到的高光图像进行高光处理后的重建结果。

由表2、表3中可得,直接提取中心线后重建标准5 mm台阶块的误差平均值为0.174 7 mm,经过高光处理后重建标准5 mm台阶块的误差平均值为0.108 4 mm。由以上结果可知,高光处理很大程度上提升了重建的精度。

4 结论

高光现象在光滑金属表面非接触式检测过程中时常发生。文中通过分析灰度图像的有效信息,提出一种峰值连续性的方法对高光现象进行处理,消除高光现象对激光条纹的影响,并对处理后的图像进行三维重建以检测处理的精度。如上所述,基于峰值连续性的方法有效地改善了高光现象对三维重建的影响,具有良好的稳定性以及较高的精度。

参考文献

[1] 曾祥军,霍金城,吴庆阳.线结构光三维测量系统扫描方向的标定[J].中国激光,2012,39(1):0108002.
 [2] 解则晓,李绪勇,辛少辉,等.水下线结构光自动扫描三维测量技术[J].中国激光,2010,37(8):2010-2014.
 [3] 刘丽辉,赵启大,董孝义,等.双折射光纤环形镜滤波器特性研究[J].光学学报,2004,24(9):1185-1188.

[4] 姚莉,马利庄,白极,等.基于多光源与补色相结合的方法去除金属表面高光[J].中国图形图像学报,2006,11:32-36.
 [5] Shafer S A. Using color to separate reflection components[J]. Color Research and Application,1985,10(4):210-218.
 [6] Nayar S K, Fang X S, et al. Separation of reflection components using color and polarization [J]. International Journal of Computer Vision,1996,21(3):163-186.
 [7] H Nakai, D Iwai, K Sato. 3D shape measurement using fixed camera and handheld laser scanner[C]//SICE Annual Conference, 2008: 1536-1539.
 [8] R Y Tsai. A versatile camera calibration technique for high accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV camera and lenses [J]. IEEE J Robotics and Automation, 1987, 3(4): 323-344.
 [9] 徐德,赵晓光,涂志国,等.基于结构光立体视觉的焊缝测量[J].焊接学报,2004,25(5):45-52.
 [10] Eng H L, Ma K K. Noise adaptive soft-switching median filter[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(2): 242-251.
 [11] 李宏,张冬生,林义刚,等.基于OTSU理论的灰度图像分割算法研究和改进 [J]. 科学技术与工程,2010,10(22): 5437-5440.
 [12] Golub G H, Van Loan C F. An analysis of the total least squares problem[J]. SIAM Number Anal, 17(6): 883-893.
 [13] R Kurazume, Y Tobata, Y Iwashita, et al. 3D laser measurement system for large scale architectures using multiple mobile robots [C]// International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling, 2007:91-98.
 [14] 张旭苹,汪家其,张益昕,等.大尺度三维几何尺寸立体视觉测量系统实现[J].光学学报,2012,32(3):0315002.