

文章编号 1004-924X(2008)07-1303-06

抗干扰的光刀中心提取方法

向长波^{1,2}, 尹传历^{1,2}, 宋建中¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:针对光切法测量受太阳光照、被测物体表面纹理信息、被测表面低反射特性等干扰因素的影响,很难准确地提取激光光带信息的问题,提出了一种有效消除这些因素的方法。控制激光光源,连续采集两幅图像,保证其中只有一幅图像包含激光光带信息;然后进行背景运动补偿,使两幅图像只在激光照到的位置处稍有不同;将两幅图像相减,使激光光带信息突出;最后,对光带数据进行细化、修补,获得完整的光刀中心轮廓线。实验结果表明,所提出的方法有效地消除了上述 3 种干扰因素的影响,非常适合于现场运动工件的表面形貌测量。

关键词:光切法;抗干扰;相邻帧差;背景运动补偿;三维测量

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

An anti-disturbing method for extracting light-knife center

XIANG Chang-bo^{1,2}, YIN Chuan-li^{1,2}, SONG Jian-zhong¹

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: In the light-sectioning method, it is difficult to accurately extract light-knife center contour due to those influences such as sun light, surface texture information and the low reflection of measured object, So an effective solution to eliminate those influences is presented. By controlling the laser, two consecutive images in which only one image contains laser information are acquired. Then, the background motion compensation is processed to make the two images have slightly difference only in the laser location, thereby the laser trace is emerged after image subtraction. Finally, a complete light-knife center contour is obtained through refinement and repair for data. The experimental results show that proposed method is effective to eliminate the influences mentioned above and it is adapted for measuring 3D shape of the mobile objects in a measuring locale.

Key words: light-sectioning; anti-disturbing; consecutive frame subtraction; background motion compensation; 3D measurement

1 引言

随着科学技术的发展,基于结构光学的非接触三维形貌测量技术极受关注,它与数字图像处理技术相结合,在质量检测、机械制造等领域得到了广泛的应用^[1-2]。

光切法是近 10 年发展起来的一种三维曲面非接触测量技术,它用线光源照射被测物体,在其表面产生一条受表面轮廓调制的光带。采用 CCD 摄像机配以合适的光学系统,以一定的倾角拍摄被测物体及照射到物体表面上的光线的图像,然后用计算机进行图像分析处理,提取出光带的中心轮廓线(通常称为光刀中心),完成一个截面的二维轮廓测量。移动被测物体或测量系统,让光切面按一定间隔扫描物体的整个表面,即可获得被测物体表面的三维轮廓信息。

在光切法测量中,精确提取光刀中心轮廓线是提高测量精度的关键。由于对安全、经济等因素的考虑,通常采用的激光的光源的功率不大,而现场的太阳光照、被测物表面纹理信息、被测物表面低反射特性等因素的影响使 CCD 摄像机只能探测到非常弱的激光扫描线,直接采用常用的阈值法、重心法、高斯拟合法等方法^[3-4]很难提取出激光的光带信息。因此,如何在太阳光照、被测物表面具有丰富纹理图案或低反射特性等背景条件下准确地提取光刀的中心轮廓线,是光切测量法在实际工程应用中需要解决的一个主要问题。

针对上述问题,本文提出了一种解决方法。首先,控制激光光源,连续采集两幅图像,使其中只有一幅图像包含激光光带信息;然后,经运动补偿技术处理后,使这两幅图像只在激光照射到的位置处稍有不同;接着,将两幅图像相减,使激光光带信息突出;最后,对光带数据进行细化、修补处理获得完整的光刀中心轮廓线信息。

2 激光光源控制器的设计

为了在相邻帧差法处理过程中,只有一幅图像包含激光信息。用视频图像中的奇偶场信号来控制激光光源的驱动电路,视频图像信号中行、场同步信号与奇偶场信号的时序关系如图 1 所示。

采用图 2 所示的激光光源控制器,当偶场信

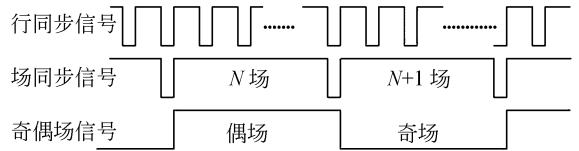


图 1 同步信号时序图

Fig. 1 Sequence chart of synchronous signals

号有效时,激光器发光,奇场信号有效时,发光停止。用 LM1881 分离出视频信号中的奇偶场信号,控制激光源的驱动电路,就可以完全实现上述所需要的功能。

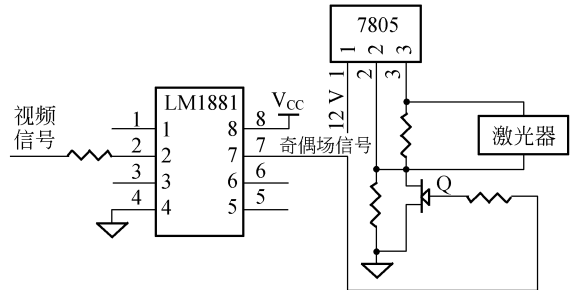


图 2 激光光源控制器原理图

Fig. 2 Sketch map of laser controller

3 背景运动补偿

为了获得被测物体整体表面的三维轮廓信息,需要移动被测物体或测量系统,让光切面按一定间隔扫描物体的整体表面。由于被测物体或测量系统的运动,造成相邻帧图像之间存在一定的位移。如果直接将相邻两帧图像简单重叠相减,会引入大量杂波,淹没了本来就已经很弱的激光信号。为此,在做相邻帧差操作^[5-6]前,首先需要进行帧间图像的配准,即背景全局运动的补偿。经过全局背景运动补偿后,相邻两幅图像只在激光照射到的位置稍有不同。

可以采用仿射参数模型来模拟摄像机运动导致的两帧图像之间的位移^[7],即相邻两幅图像上的特征点对满足如下的仿射关系:

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中, (x_1, y_1) 为前一帧图像中某一特征点的坐标,该特征点在当前帧图像上的坐标为 (x_2, y_2) 。要求解(1)式中的未知参数 a_1, a_2, a_3, a_4, u 和 v ,

至少需要3对匹配的图像特征点。

采用特征块匹配的方法在相邻两帧图像上选择特征点对。设相邻两帧图像为 I_{k-1} 和 I_k , 以图像 I_k 为基准, 将图像划分成 $n \times n$ 大小的子块 W_{ij}^k 。匹配块的选择原则采用如下的评价函数^[8]:

$$f_i = \sum_{(x,y) \in W} [I_k(x,y) - \sum_{(x,y) \in W} I_{k-1}(x,y)/n^2] / n^2. \quad (2)$$

当 f_i 大于预设的某个阈值时, 将此块标记为匹配块。对每一个匹配块 W_{ij}^k 在 I_{k-1} 图像中以 (x,y) 为中心, 大小为 $m \times m$ 范围内寻找与块 W_{ij}^k 尺寸相同的最佳匹配块。匹配准则选用最小均方差准则:

$$\text{MSE}(r) = (1/n^2) \sum_{(x,y) \in W} [I_k(x,y) - I_{k-1}(x + \Delta x, y + \Delta y)]^2. \quad (3)$$

获得多对匹配特征点坐标后, 就可以求解(1)式的最小二乘解, 然后采用双线性插值等方法得到运动补偿后的帧图像 I_{k-1}' 。

4 光刀中心提取

经运动补偿处理后, 相邻帧图像只在激光照射的位置处稍有不同, 两帧相减后, 激光光带所在位置就会非常明显。采用直方图的自适应阈值技术对帧差后的图像进行二值化运算, 同时进行形态学滤波处理, 就可以得到光带数据。相邻帧差法用公式表示如下:

$$d(x,y) = |I_k(x,y) - I_{k-1}'(x,y)|, \quad (4)$$

$$ID_k(x,y) = \begin{cases} d(x,y) & d(x,y) \geq T \\ 0 & d(x,y) < T \end{cases}, \quad (5)$$

式中, ID_k 是相邻帧差图, T 是自适应阈值。

获得光带数据后, 还要将光带数据细化, 提取出光带的中心位置, 也就是通常所说的光刀中心。利用当前普遍使用的内插细分算法^[9], 可以得到比较高的像点中心的定位精度。设激光光带在某位置法线方向上的宽度为 w , 其中相邻的3个连续采样点 y_1, y_2 和 y_3 的灰度值分别为 S_1, S_2, S_3 , 权重分别为 ρ_1, ρ_2, ρ_3 , 则激光带在该法线方向上的精确位置表示为如下公式:

$$y = y_2 + \frac{\ln \rho_3 s_3 - \ln \rho_1 s_1}{2(2 \ln \rho_2 s_2 - \ln \rho_1 s_1 - \ln \rho_3 s_3)}. \quad (6)$$

经上述内插细化处理后, 激光带上的点已经达到亚像素的定位精度, 基本满足了工业实时测

量的要求。

由于被测表面凹凸不平且反射特性不同, 在提取光刀中心时, 不能保证整个激光光带的完整性, 即在光刀的某些部分会出现断开的现象。一般情况下, 在光刀断线处采用B样条曲线拟合^[10]法就可以获得满意的效果。B样条曲线拟合的关键点在于如何获得置信度较高的型值点, 本文采用了二维数据与一维数据相结合的计算策略。基于光切法的测量特点, 若在某条光刀上发生断线, 则断线处数据点的值可由其左右相邻的若干条光刀在同一位置坐标处的数据点值得到。即若光刀 L_i 上的第 j 个点数据丢失, 则可由公式(7)得到。

$$L_{i,j} = \frac{1}{2n} \sum_{k=i-n}^{k=i+n} L_{k,j}. \quad (7)$$

如果相邻的光刀在同一位置发生断线时, 则直接利用光刀断线处的两端数据点通过线性插值获得所需要的型值点。用上述策略对在光刀断线处得到的几个型值点进行B样条曲线的拟合, 可以获得比较平滑连续的光刀数据曲线。

5 实验结果

实验现场布置如图3所示。激光波长630~680 nm, 激光功率 <5 mW, 激光器到参考平面的距离为500 mm, CCD摄像机的焦距为8.5 mm, CCD与激光器的距离为264 mm, 光源与CCD光轴的夹角为 25° 。实验分为3组, 分别检验在太阳光照、被测物表面具有低反射特性以及含有丰富纹理等干扰因素下本文所提方法提取光带信息的能力。

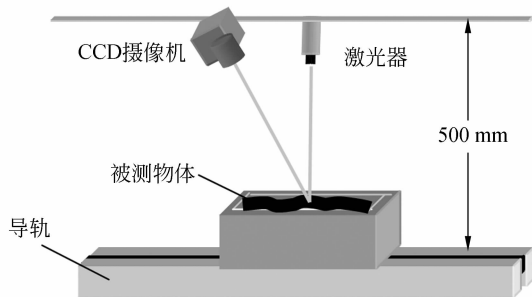


图3 试验现场布置示意图

Fig. 3 Sketch map of test site

5.1 抗光照实验

时间:上午 10 点左右,阳光透过窗户斜射入实验平台上,在程序的控制下,装有煤的盒子在导轨上移动。控制激光光源连续采集图像。

图 4(a)、(b)为连续采集的两幅图像。其中只有图 4(b)包含激光光带信息。图 4(c)是采用

直方图自适应阈值算法对图 4(b)进行二值化的结果。从图中可以看出,由于太阳光照的缘故,激光几乎全部淹没在太阳光背景下,很难提取出有效的光带数据。图 4(d)是本文方法提取的结果,可以看出,除了存在少量的噪声点外,提取出的光带信息比较完整。

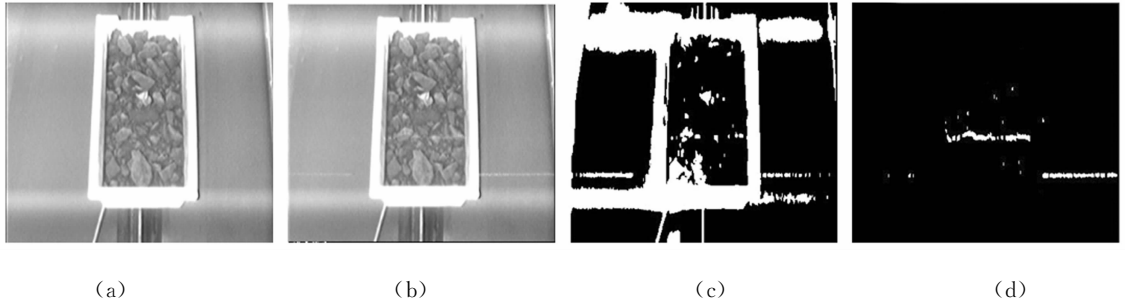


图 4 抗光照的实验结果

Fig. 4 Experimental results under the influence of sun light

5.2 被测表面具有低反射特性的实验

实验中被测物体选用汽车模型的前挡风玻璃。采集的两幅连续图像如图 5(a)、(b)所示。由于玻璃的倾斜角度和折射作用,反射到 CCD 的激光能量非常弱。图 5(c)是采用直方图自适应

阈值算法对图 5(b)进行二值化的结果,可以看出,提取出的只是汽车整体外形信息,照射在挡风玻璃上的激光信号几乎全部丢失。图 5(d)是本文方法提取的结果,比较完整地提取出了光带的信息。

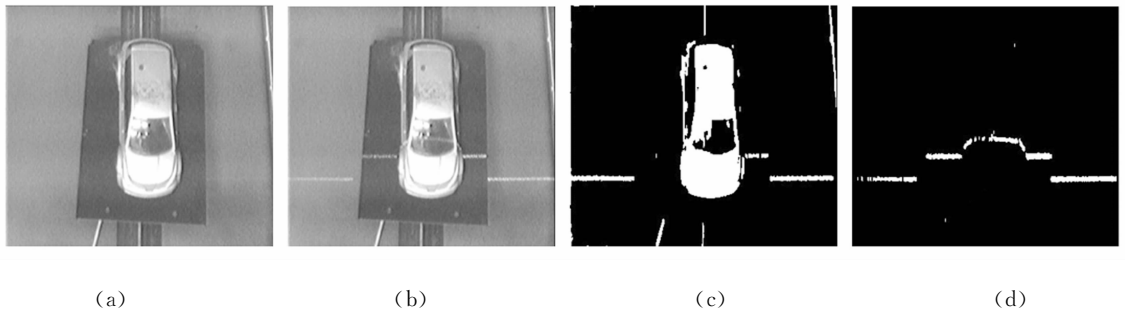


图 5 被测表面具有低反射特性的实验结果

Fig. 5 Experimental results under the influence of surface low reflection of measured object

5.3 被测表面具有丰富纹理的实验

该组实验的被测物体选用表面带有非常丰富纹理图案的茶盒。图 6(a)、(b)是连续采集的两幅图像,图 6(c)是采用直方图自适应阈值算法对图 6(b)进行二值化的结果。显然,图像中的激光光带信息与纹理图案已经完全融合在一起,很难

准确地区分。图 6(d)是本文方法的结果,消除了表面纹理信息的干扰,获得比较满意的效果。

为防止图像饱和,影响直方图自适应算法提取合理的阈值,在实验中,摄像机镜头前安装了窄带滤光片。

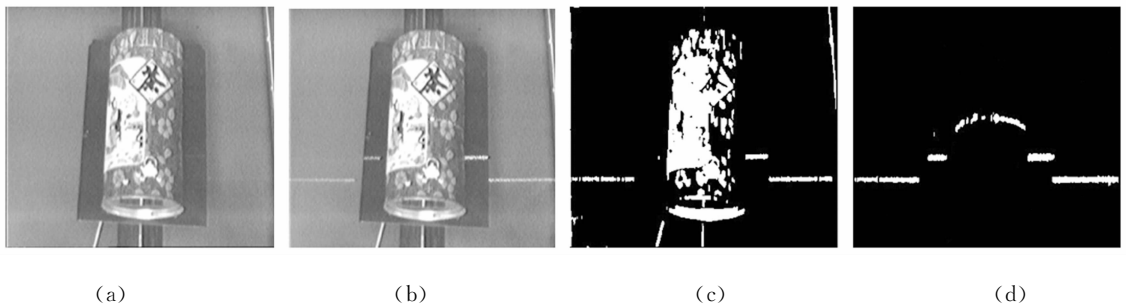


图6 被测表面具有丰富纹理的实验结果

Fig. 6 Experimental results under the influence of surface texture information of measured object

6 结 论

本文针对光切法在实际应用中经常遇到的受太阳光照、被测表面纹理丰富、被测表面低反射特性等干扰因素影响的问题,提出了一种切实可行的解决方法。设计的激光光源控制器确保了在任意时刻连续采集的两幅图像,始终只有一幅图

像包含所需要的激光光带信息。这两幅图像经运动补偿处理后,只在激光光带位置处稍有不同,保证两帧图像相减后,只保留了激光光带数据,有效地消除了上述3个主要干扰因素的影响,保证了光带中心轮廓线的提取精度。实验结果验证了上述结论。

本文所提方法非常适合生产现场工件表面粗糙度的自动化测量与形貌的三维重建。

参考文献:

- [1] MAKOTO S, FUSAAKI K, MASASHI Y. Development of shape measurement system using an omnidirectional sensor and light sectioning method with laser beam scanning for hume pipes[J]. *Optical Engineering*, 2006, 45(6): 64301-1-64301-11.
- [2] ROBERT S, ALEXANDRE O, CHRISTIAN N. A method for edge detection of textile preforms using a light-section sensor for the automated manufacturing of fibre-reinforced plastics[J]. *SPIE*, 2007, 6616: 661609-1-661609-12.
- [3] 王文成,徐建强,司书春. 一种改进的重心法在光带中心提取中的应用[J]. *光电子激光*, 2005, 16(10): 1239-1242. WANG W CH, XU J Q, SI SH CH. A improved barycenter method used in light-trap center acquiring [J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 2005, 16(10): 1239-1242. (in Chinese)
- [4] WU J B, CUI ZH, ZHAO H, *et al.*. Self-adaptive threshold method for light-knife center acquiring [J]. *Tool Engineering*, 2000, 34(10): 27-29.
- [5] 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)
- [6] 王洪建,李志敏. 基于视频图像的车辆流量实时检测系统[J]. *光学精密工程*, 2005, 13(增): 222-226. WANG H J, LI ZH M. Real-time measuring system based on vehicle flow video image[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(Supp.): 222-226. (in Chinese)
- [7] 赖作镁,王敬儒,张启衡. 背景运动补偿和假设检验的目标检测算法[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(1): 112-116.

- LAI Z M, WANG J R, ZHANG Q H. Object detection algorithm based on background motion compensation and hypothesis test[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(1):112-116. (in Chinese)
- [8] 潘锋, 王宣银, 向桂山, 等. 一种新的运动目标检测与跟踪算法[J]. *光电工程*, 2005, 2(1):43-46.
- PAN F, WANG X Y, XIANG G SH, *et al.*. A new detection and tracking algorithm for moving objects[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2005, 2(1):43-46. (in Chinese)
- [9] 刘震亚, 何平安, 王卫平, 等. 激光光切法测量不规则堆料的截面面积[J]. *光学技术*, 2005, 31(1):146-148.
- LIU ZH Y, HE P A, WANG W P, *et al.*. Section area measuring of irregular stack with light-section method[J]. *Optical Technique*, 2005, 31(1):146-148. (in Chinese)
- [10] 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.
- WU J B, ZHAO H, TAN Y SH. A novel solving method to the broken line problem of light-knife[J]. *Optical Technique*, 2001, 27(2):189-191. (in Chinese)

作者简介:向长波(1978—),男,湖南怀化人,博士研究生,主要从事计算机视觉,视频图像处理技术和嵌入式系统设计等方面的研究。E-mail: cbxiang@126.com

宋建中(1942—),男,研究员,博士生导师,主要研究方向为模式识别与电视跟踪技术等。E-mail: songjz@ciomp.ac.cn

●下期预告

CO₂ 连续激光弯曲硼硅酸盐玻璃薄片实验研究

吴东江¹, 牛方勇¹, 刘 双¹, 马广义¹, 祝 勇², 王续跃¹

(1. 大连理工大学 精密与特种加工教育部重点实验室, 辽宁 大连 116024;

2. 大连理工大学 工程训练中心, 辽宁 大连 116024)

利用 CO₂ 连续激光对硼硅酸盐玻璃薄片进行了弯曲实验, 确定了 CO₂ 连续激光弯曲厚度 150 μm 的玻璃所需功率密度阈值。研究了激光功率(P)、扫描速度(V)、扫描次数(n)及样品宽度(d)对弯曲效果的影响, 并简要分析了弯曲现象产生的原因。给出了弯曲加工的 P, V 范围图, 获得多组可以成功弯曲玻璃样品的工艺参数。实验结果表明, 采用 CO₂ 连续激光可以对硼硅酸盐玻璃薄片进行弯曲加工, 弯曲角度可达 24°以上。