

文章编号:1002-2082(2010)03-0432-05

大视场下线结构光光条中心的快速提取

张瑞瑛, 周萍, 冯煦, 李松, 舒强

(武汉大学 电子信息学院, 湖北 武汉 430079)

摘要: 在线结构光三维测量中, 线结构光光条中心的提取是关键的一步。针对强背景光大视场下线结构光光条(长度约2 m)中心的提取, 提出了一种基于感兴趣区域(ROI)的光条中心提取方法。首先用统计的方法确定图像处理的ROI, 再在此区域内用最大类间方差法进行阈值分割并用灰度重心法提取中心。结果表明: 在Visual C++ 6.0平台上, 处理一帧1 280×1 024大小的线结构光条图像大约用时47 ms, 且光条中心提取精度高。这种提取中心的方法很好地减弱了大视场下强背景光的干扰, 提高了光条中心提取速度。

关键词: 线结构光; 光条中心; 感兴趣区域; 最大类间方差法; 灰度重心法

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

Rapid extraction of line-structured light stripe in large field of view

ZHANG Rui-ying, ZHOU Ping, FENG Xu, LI Song, SHU Qiang

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: In three-dimensional testing systems based on line-structured light, extracting the center of a line-structured light stripe quickly and accurately is a key problem. To extract the center of line-structured light with a length of 2 meter in a large field of view and strong noise background, an extraction method based on region of interest (ROI) is proposed. Firstly, ROI for image processing is defined by using statistic method, then Otsu method is used for threshold segmentation and barycenter method is used to exact the center within ROI. Experiments showed that the extracting time of a 1 280×1 024 sized picture of a line-structured light was about 47 ms in Visual C++ 6.0 by the proposed method and the extraction was proved accurate. The proposed method reduces the interference of strong background noise in large field of view and improves the extraction speed of line-structured light.

Key words: line structured light; light stripe center; region of interest (ROI); Otsu method; barycenter method

引言

线结构光视觉三维测量具有非接触、动态响应快、系统柔性好、测量成本低等优点, 广泛应用于产品快速设计和加工质量控制、逆向工程以及自动控制等诸多领域^[1]。

线结构光视觉三维测量是基于激光三角测量原理的非接触式检测。激光器向被测对象表面投射

线结构光, 线结构光光条受到物体表面深度的调制产生变形, 变形的的光条图像由相机获取, 其中心位置坐标包含了激光器、相机之间的相对位置信息及被测物体表面的深度信息。因此, 提取光条中心位置坐标是结构光三维测量中的关键步骤。

在有些工业现场的三维测量中, 要求激光器输出波长与输出功率稳定, 测量范围大。在大测量范

收稿日期: 2009-11-09; 修回日期: 2009-12-24

作者简介: 张瑞瑛(1989-), 女, 湖北武汉人, 武汉大学电子信息学院光信息科学与技术在读本科生, 主要从事图像处理及超透镜成像等方面研究。E-mail: fici@yahoo.cn

围下,相机拍摄视场也较大,造成图像处理时易受非被测物体的干扰,特别是在户外环境下,背景干扰尤为强烈。针对这一特点,本文提出用基于感兴趣区域(ROI)的最大类间方差法阈值分割再用灰度重心法细化的处理方法。实验证明:这种方法提取光条中心精度高、用时短,并且抗背景干扰能力强,在户外环境下无需对图像采集系统进行封闭式设计。

1 激光光条图像分析

1.1 实验系统简介

本文采用的激光器是武汉大学光电实验室研制的大功率红外半导体激光器,输出波长约为808 nm,出瞳功率大于2 W,在2 m处线长大于2 m,且具有准直性好、光斑细等优点。图像采集系统为CMOS相机,信噪比大于56 db,获取图像大小为1 280×1 024,像元尺寸为6.7 μm×6.7 μm。相机滤波片中心波长为808 nm,带宽约为60 nm。实验系统的结构如图1所示。

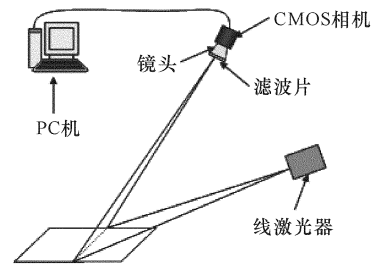
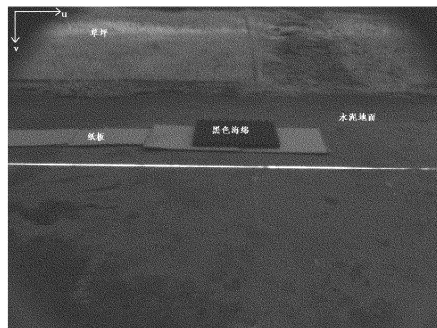


图1 实验系统结构

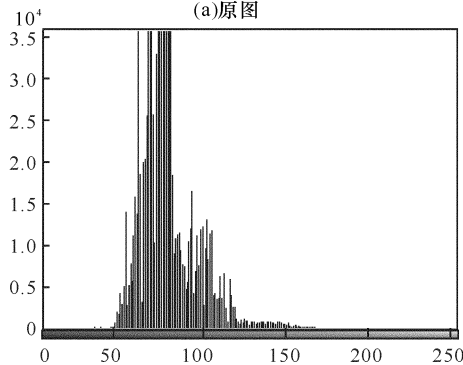
Fig. 1 Experiment system

1.2 激光光线光条图像特征分析

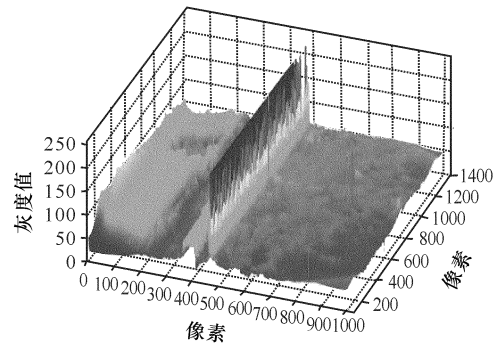
用图1所示系统采集线激光图像如图2(a)所示。激光器投射到地面的距离约2 m,激光光线线长大于2 m,激光线在长度方向上光强分布较为均匀。投射到地面上的激光光线线宽在3 mm左右,反映在图像上线宽在7~8个像素左右。从图2(c)可以看出,由于背景较多,灰度值大多集中在50至150。由图2(b)可知,图像上方的草坪有较大的干扰。图2(a)中任意一列的光强分布如图2(d)所示,说明光条横截面强度是近似服从高斯分布的。



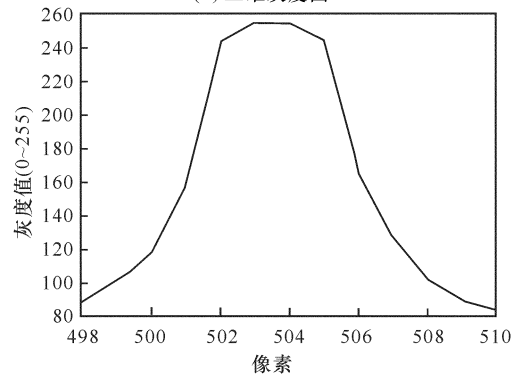
(a)原图



(c)灰度直方图



(b)二维灰度图



(d)灰度曲线

图2 采集图像特点

Fig. 2 Characteristics of the captured

2 结构光图像处理办法

测量系统在室外进行大视场拍摄通常会拍摄到非被测物体,如图2(a)中的草坪。此外,实际测量中,

环境光照不稳定,环境中被测物体及其他物体表面反射光,相机感光面的成像噪声以及图像采集卡采样和量化误差等诸多因素的影响,使获得的数字图

像带有大量各类型噪声。因此,要提取光条中心,首先要对图像进行预处理以去除各类噪声,保留有用光条信号。然后再对光条进行细化以提取中心。

2.1 细化预处理

由于图像背景复杂,噪声较大,在图像细化之前必须分割出目标和背景。阈值法是图像分割中最常见的方法。阈值分割方法有固定阈值分割和自适应阈值分割。固定分割要根据实际光照和摄像情况,由用户多次实验决定,具有很大的局限性。自适应的阈值分割方法有最大类间方差法。最大类间方差法是由日本学者大津于1979年提出的,又叫大津法,简称OTSU。该方法适用性广泛,对具有不同灰度的图像均可以应用,弥补了传统基于直方图的阈值分割法对图像模型假设的种种缺陷。不管直方图有无明显双峰,都能得到较满意的效果。但是此方法比较简单。针对此缺点,本文提出了基于ROI的最大类间方差法。该方法原理如下:

阈值化处理主要目的是获得高灰度值的光条ROI(感兴趣区域)的初始区域。在结构光视觉三维测量中,结构光光条像素趋向于取允许的最大灰度值(此时为255),如图2(b)所示。相应的背景与光条图像灰度值相差较大,在带有滤光片的结构光视觉系统更是如此。因此,对线激光图像(以光条垂直的情况为例)每一行分别求出灰度最大值,除去少数行严重受到背景干扰的图像,多数行中具有最大灰度值的像素点是落在ROI中的。以这些灰度最大值的横坐标均值作为中心,在此坐标基础上左右各取一定列数作为ROI区域,然后在此区域内运用最大类间方差法进行阈值分割即可。为排除噪声点的干扰,灰度最大值的横坐标均值具体求取方法如下:

1) 求出所有行灰度最大值横坐标的均值 μ_0 和标准差 σ_0 。

2) 对各行横坐标进行筛选。即保留横坐标在 $\mu_0 - \sigma_0$ 至 $\mu_0 + \sigma_0$ 之间的点。将其他点看作背景。

3) 对保留下的点求新的均值 μ_1 和标准差 σ_1 。若新的标准差 σ 在满意的范围内,则将此时对应的均值 μ_1 作为激光线上像素横坐标的均值,否则继续进行迭代,直至 σ_n 在满意的范围内为止。并将此时的 μ_n 作为激光线上像素横坐标的均值。

4) 确定ROI的范围。根据第3步骤中求出的横坐标均值和实际激光线偏移的情况,确定ROI的范围为 $\mu_n - d$ 至 $\mu_n + d$ 列图像。 d 为根据被测物表面曲率变化情况对光条中心最大偏移列数的估计值。

这种基于ROI的最大类间方差法可以很好地排除背景的干扰。每次迭代保留每行灰度值最大点横坐标在 $\mu_n - \sigma_n$ 至 $\mu_n + \sigma_n$ 内的点,按照统计学的理论,即保留了68.3%的每行灰度值最大点的横坐标。在多次迭代过程中,可以使新均值越来越逼近真实值。以此均值为中心确定的ROI区域更加准确,从而实现了光条中心条纹自动的初提取。

2.2 光条细化

常用提取中心算法可以分为四类^[2]

(1) 阈值法^[3]; (2) 拟合曲线求极值法^[4]; (3) 重心法^[3]; 这种方法是多个像素共同参与运算,光条上噪声对于提取结果影响程度比前两类方法小,实际应用比较可靠;通过与多项式拟合或NURBS曲线拟合相结合可在一定程度上减小噪声的影响; (4) 腐蚀细化和最小中值二乘法相结合的提取方法^[5]; 该方法具有很强的鲁棒性,能克服反射的影响,具有很高的提取精度。目前(3)和(4)两种方法被普遍采用。

本文中测量物体曲率变化不大,光条形状比较简单。对于近似于直线的光条中心线提取,方法(3)用NURBS曲线或B样条拟合光强分布,然后利用重心法求取中心,精度高,受外界影响小^[6]。B样条拟合重心法的迭代过程是使噪声点不断向线激光曲线逼近的过程,这种方法能很好地消除激光线上的噪声。

3 实验与分析

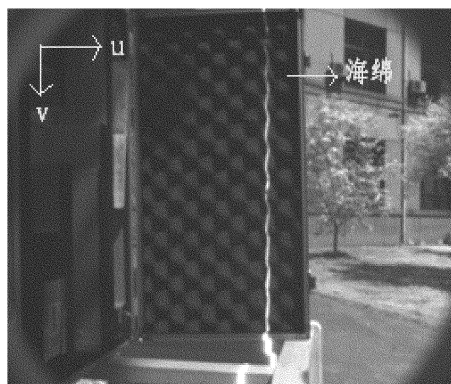
3.1 阈值分割方法对比

基于ROI的最大类间方差法在均值的求取过程中可以很好地排除强烈的背景干扰,如图4所示。图4中的离散点为图3(a)中每行图像灰度值最大点的横坐标。图像右方虚线截距表示这些坐标的平均值。由于受到右侧背景干扰,平均值偏大近100个像素点。左方直线截距为经过迭代后的平均坐标值,经对比,发现迭代得到的坐标与图像真实情况接近。对于有些背景干扰不太强烈的情况,例如图3(a),可以不采用迭代,直接求取坐标均值以确定ROI区域。这样在保证一定精度的前提下,可以提高处理速度。

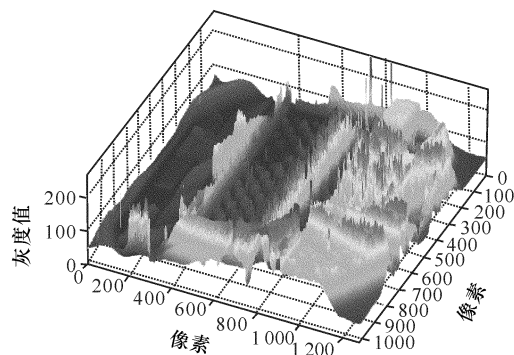
用这种迭代计算均值的方法确定ROI区域,并在此区域内采用阈值分割的方法处理噪声较强的图像有很好的效果。在有强烈太阳光的情况下,使激光线投射在黑色具有漫反射的海绵上,采集到线长约1m的激光线图像如图3(a)所示。由图3(b)可以看

出,图像右侧受到背景的强烈干扰。图3(d)图图像分

割的效果明显好于图3(c)。



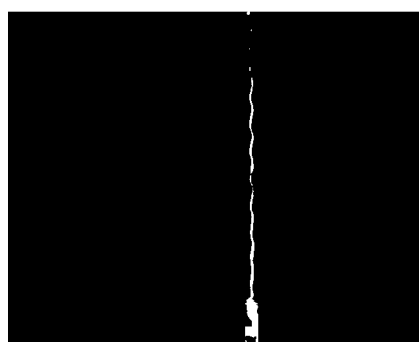
(a) 原图



(b) 二维灰度图



(c) 用Otsu法阈值分割后



(d) 用文中方法阈值分割后

图3 原图与阈值分割后

Fig. 3 Original image before and after

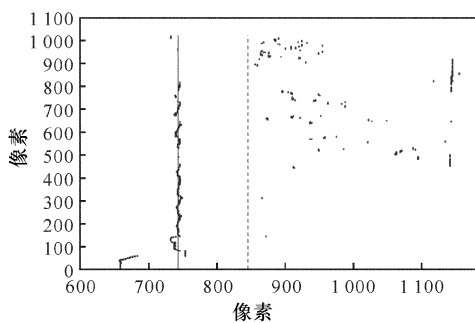


图4 迭代过程对均值的修正

Fig. 4 Iterative process of the amendment to mean

3.2 细化方法对比

在CPU 2.0 GHz,内存1.99 GB的PC机上,matlab 7.6.0运行环境下,本文对各种细化方法进行了对比。用B样条拟合重心法和灰度重心法处理

图2(a),两者提取的线激光中心坐标平均相差 2.73×10^{-4} 像素。同时,在matlab中,灰度重心法处理图2(a)平均用时0.054 s,而用B样条拟合重心法平均用时1.09 s。显然,选用灰度重心法就能满足快速准确提取结构光条纹中心的需要。

由于图2(a)中路面较为平整,在理想情况下,提取中心后的激光线应呈直线。在直角坐标系下,对提取的中心坐标位置进行直线拟合,并计算拟合直线的残差。几种细化方法对比如表1所示。可以看出用B样条迭代重心法所得残差最小。相比之下,灰度重心法残差只大0.08个像素。在处理时间上,灰度重心法则有明显优势。总之,在对时间要求较高时,用灰度重心法就能达到准确快速的提取。

表1 细化方法的对比

Table 1 Comparison between several thinning methods

	高斯曲线拟合极值法	二次多项式曲线拟合极值法	灰度重心法	B样条迭代重心法	方向模板法
拟合后的方程/pixel	$-0.013x+528.13$	$-0.013x+528.13$	$-0.013x+528.01$	$-0.013x+528.01$	$-0.013x+528$
残差范数/pixel	7.43	7.41	5.34	5.26	15.60
处理时间/s	39.64	15.67	0.054	1.09	1.42

3.3 激光条纹中心线的提取

结合 3.1 和 3.2 的分析结果可知:采用基于 ROI 的最大类间方差法和灰度重心法提取激光条纹中心速度快,准确度高。在 VisualC++6.0 运行环境和 3.2 中所述硬件条件下,以上方法处理一幅 1280×1024 大小的激光线图像平均用时 47 ms。图 2(a)和图 3(a)提取中心线后结果如图 5 和图 6 所示。



图 5 图 2(a)的细化

Fig. 5 Thinning of Fig. 2(a)

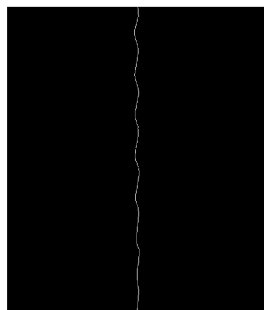


图 6 图 3(a)的细化

Fig. 6 Thinning of Fig. 3(a)

4 结语

针对大视场下获取的线结构光条图像背景干扰强的特点,本文提出了一种基于 ROI 的最大类间方差法和灰度重心法相结合的光条中心快速提取方法。基于 ROI 的最大类间方差法是通过计算光条的 ROI,缩小阈值分割范围,从而提高图像处理速度,并能很好地将曲率变化不大的被测物体与背景自动分离开。在细化方法上,对于此类图像,灰度重心法提取精度与 B 样条拟合重心法接近,但速度远远优于后者。实验证明,本文提出的方法提取光条中心快速、准确,对于强烈光照下黑色有漫反射的物体都有很好的处理效果。

参考文献:

- [1] 周富强,陈强,张广军. 结构光光条提取的混合图像处理方法[J]. 光电子·激光,2008,19(11):1534-1537. ZHOU Fu-qiang, CHEN Qiang, ZHANG Guang-jun. Composite image processing for center extraction of structured light stripe[J]. Journal of Optoelectronics · laser, 2008, 19(11): 1534-1537. (in Chinese with an English abstract)
- [2] 解则晓,辛悦向,金明,等. 光条亮度对线结构光测量精度的影响[J]. 光学技术,2008,34(增刊):52-54. XIE Ze-xiao, XIN Yue-xiang, JIN Ming, et al. Influence on the accuracy of structured-light sensors by the brightness of laser stripe [J]. Optical Technique, 2008, 34(Sup): 52-54. (in Chinese with an English abstract)
- [3] 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 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. (in Chinese with an English abstract)
- [4] 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[J]. 北京航空航天大学学报,2003,29(7):593-597. 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. (in Chinese with an English abstract)
- [5] 魏振忠,张广军. 结构光直光条中心线的鲁棒性自动提取方法[J]. 仪器仪表学报,2004,25(2):244-247. WEI Zhen-zhong, ZHANG Guang-jun. A robust automatic method for extracting the centric line of straight structured-light stripe [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004, 25(2): 244-247. (in Chinese with an English abstract)
- [6] 熊会元,宗志坚,高群,等. 精确提取线结构光条纹中心方法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(10):235-237. XIONG Hui-yuan, ZONG Zhi-jian, GAO Qun, et al. Precise method for extracting center of structured light stripe [J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(10): 235-237. (in Chinese with an English abstract)