



基于视频的结构光光条中心提取方法

陈亮, 王永强, 许增朴, 于德敏
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 针对结构光测量系统, 提出基于视频的结构光光条中心提取方法. 首先, 为了分析图像随时间变化的关系, 将视频图像的每一帧的同一列像素提取出来, 按照时间顺序排列成一幅图像. 然后, 把图像逆时针旋转 θ 角度(θ 角是激光平面和 CCD 传感器平面法线的夹角), 提取光条中心图像坐标. 最后, 把求得的光条中心图像坐标顺时针旋转 θ 角, 根据这个光条中心坐标反求物体的三维轮廓. 该方法利用视频图像各帧之间的相关性, 有效地克服了颜色突变对光条提取的影响. 实验表明, 该方法能够有效降低光条中心提取的误差.

关键词: 三维测量; 结构光; 视频; 光条中心

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2009)04-0062-04

Video-Based Method for Extracting the Center of Structured Light Stripe

CHEN Liang, WANG Yong-qiang, XU Zeng-pu, YU De-min

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: For structured light measurement system, video-based light stripes center extraction method was proposed. First, in order to analyze the relationship between images and time change over, the video image of each frame of the same row of pixels were extracted, then arranged an image in accordance with chronological order. Second, images were rotated θ degrees counterclockwise (θ angle is the normal angle between laser plane and CCD sensor plane) to extract image coordinates of light stripes center. Finally, the obtained light stripes center image coordinates were rotated θ degrees clockwise, and then three-dimensional contours of objects were acquired according to this light stripes center coordinates. This method can effectively overcome the color mutations effects on light stripes extraction by using video images of the correlation between frames. Experiments show that the method can effectively reduce the extraction error of light stripes center.

Keywords: three-dimensional measurement; structured light; video; laser stripe center

结构光测量系统是基于光学三角法测量原理. 激光器发出的光平面照射在物体表面, 在物体表面形成畸变的光条, CCD 传感器获取畸变光条的图像, 其畸变程度包含了激光器、CCD 传感器之间的相对位置信息以及被测物体表面的深度信息. 结构光测量就是根据这些畸变光条的变化得到物体表面的三维信息. 由于激光光条在物体表面会形成具有一定宽度的光带, 在处理时必须提取其中心位置, 以形成单像素宽的光条图像. 因此, 光条中心的提取精度直接影响三维测量的精度^[1].

由于激光光条的光强服从高斯分布, 因此前人的

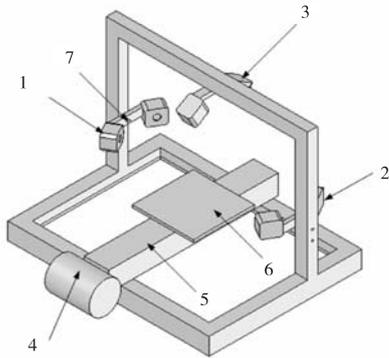
工作主要集中在提取光带的高斯分布中心位置. 根据这一思想发展了极值法、门限法、重心法和高斯拟合等方法^[2-3]. 但是, 当被测物体因表面颜色变化或纹理变化引起反射率突变时, 这些方法往往受到限制.

针对上述问题, 本文提出了一种基于视频的提取光条中心的方法, 并应用于实际测量系统, 取得了较好的效果.

1 应用背景

基于线结构光的多视角视觉测量系统在三维反

求测量中有着广泛的应用,六视角三维物体轮廓测量系统结构如图1所示.



1,2,3. 线结构光视觉测头; 4.步进电机; 5.直线导轨; 6.载物平台; 7.激光器

图1 三维轮廓测量系统示意图
Fig.1 Sketch map of three-dimensional profile measurement system

用6个CCD传感器和3个激光器组成3个视觉测头,每个测头包括2个CCD传感器和1个激光器.每个传感器像平面和激光平面的夹角为45°.测量时物体放在载物平台上,由步进电机带动通过激光平面.CCD传感器获取光条图像,通过光条中心的图像坐标反求出物体的三维轮廓坐标.

2 影响光条中心提取精度的因素分析

2.1 激光光条的特性

半导体激光器的光条,其光强服从高斯分布^[4],带宽为光强降至中心强度的1/e²(约14%)时光条的宽度.光条中心的亮度最大,通常将光强最大值处认为是光条中心.

2.2 影响因素分析

在光条中心提取过程中,有很多因素影响提取效果^[4],如:(1)光条宽度和亮度随测量距离改变而发生的变化;(2)被测物表面颜色及材质特征对光条图像的影响;(3)CCD光学镜头景深对光条图像清晰度的影响.本文主要针对第2种情况进行分析,并提出了相应的解决方案.

物体表面的颜色变化直接影响反射率,纯黑物体的反射率为0,纯白物体的反射率为1,实际物体的反射率介于0与1之间.在图2中,光条中心照射在物体表面颜色突变交点时,交点两侧反射到CCD传感器的光强分布是不对称的,这时用传统方法提取的光条中心会产生较大误差.

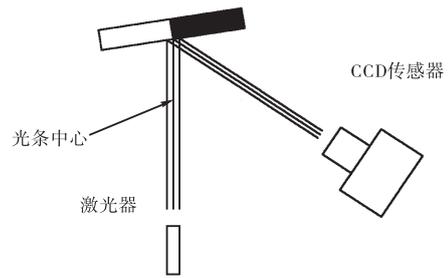


图2 物体表面颜色发生突变
Fig.2 Object surface color mutation

3 基于视频的光条中心提取方法

3.1 光条中心提取^[5]

针对如图2所示的物体表面颜色突变的情况,在物体运动状态下采集视频图像,CCD传感器在颜色突变交点处获取的光条的光强会逐渐减弱.

为了分析图像随时间变化的关系,将视频图像的每一帧的同一列的像素提取出来,然后按照时间顺序排列到一幅图像中,如图3(a)所示.假设采集的视频中有N帧图像,每帧图像的大小为[I, J],将提取的第k列数值组成一幅新图像,可以用式(1)表示提取的图像.

$$NewImage_j(i, k) = Image_k(i, j) \quad (i=1, \dots, I; j=1, \dots, J; k=1, \dots, N) \quad (1)$$

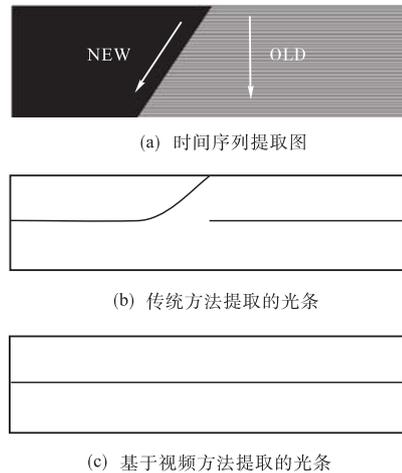


图3 传统方法和基于视频方法提取的光条中心位置对比
Fig.3 Light stripe center contrast of original method and method based on video

在图3(a)中,传统方法提取光条中心是沿着OLD的方向进行的,这时对光条中心的提取会产生误差,如图3(b)所示.传统方法提取到的光条中心有一定的变形.本文方法采用沿着NEW的方向提取,这样减少了光条提取的误差,所得到的光条中心可以

近似达到图 3(c) 所示的效果.

3.2 运动物体的光照分析

如图 4 所示,激光器和 CCD 传感器固定,物体移动. 假设物体的初始坐标为 $P_0 = (x_0, y_0)$, 物体的运动速度为 $v = (-v, 0)$, 物体表面法向量为 n , ω_L 为入射光的光强, ω_S 为反射到传感器的光强.

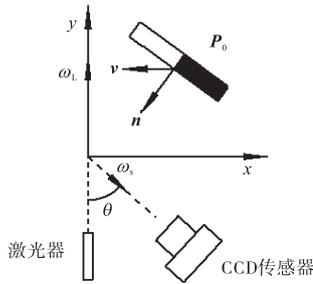


图 4 运动物体光照模型
Fig.4 Sports object illumination model

物体随时间变化的坐标为

$$p(t) = p_0 + vt \tag{2}$$

传感器接收到的光强和物体的位置之间有比例关系,根据这个关系建立等式:

$$L(p(t), \hat{\omega}_S) = f_r(\hat{\omega}_L, \hat{\omega}_S) |\hat{n} \cdot \hat{\omega}_L| I_L e^{-\frac{2(x_0 - vt)^2}{w^2}} \tag{3}$$

式中:函数 f_r 是反射到传感器的光强与入射光光强之比; $|\hat{n} \cdot \hat{\omega}_L|$ 是物体表面上 P 点表面的法线和入射光方向的余弦值; w 代表光条宽度; I_L 代表光强最大值.

将 P 点的坐标投影到 CCD 传感器,可以得到 P 点在 CCD 传感器上的位置:

$$S = (x_0 - vt) \cos \theta + y_0 \sin \theta \tag{4}$$

式中 θ 是激光平面和传感器之间的夹角.

将式 (3) 和式 (4) 合并,可以得到物体运动状态下 CCD 传感器上的光强:

$$E_S(t, s) = f_r(\hat{\omega}_L, \hat{\omega}_S) |\hat{n} \cdot \hat{\omega}_L| I_L e^{-\frac{2(x_0 - vt)^2}{w^2}} \cdot \delta(S - (x_0 - vt) \cos \theta - y_0 \sin \theta) \tag{5}$$

设

$$\beta = f_r(\hat{\omega}_L, \hat{\omega}_S) |\hat{n} \cdot \hat{\omega}_L| \tag{6}$$

记 $x = x_0 - vt$, $y = s / \sin \theta$, 则有

$$E_S(t, s) = \beta I_L e^{-\frac{2(x)^2}{w^2}} \delta(x \cos \theta + (y - y_0) \sin \theta) \tag{7}$$

式中: $\delta(x \cos \theta + (y - y_0) \sin \theta)$ 限制了光强的分布沿着一个倾斜方向; $\beta I_L e^{-\frac{2(x)^2}{w^2}}$ 表示了光强的分布情况.

当激光平面和被测物表面正好垂直时,光条的形状呈高斯分布. 但是, 大多数的情况下激光平面与被测物表面并不垂直, 如图 4 所示. 当物体表面与激光

平面有一定角度时,光条的宽度会发生变化. 所以,光源照到物体方向的光强为

$$\omega' = \omega / \cos \theta \tag{8}$$

物体被照射到的光强最大值是 βI_L , θ 及 w 仅与传感器的位置参数有关,与物体的位置、方位及物体表面的反射情况无关.

3.3 重心法求光条中心

首先,把带有光条的图像进行阈值分割,当图像某个像素的灰度大于 T 时,取其灰度,当其小于 T 时,把这个像素的灰度设置为零.

然后,对图像中的每一列按式 (9) 提取灰度中心,作为光条中心位置. 设第 k 列非零值区间为 (m, n) , 则该行灰度的重心位置为

$$\overline{X}_k = \sum_{i=m}^n (i \cdot h_i) / \sum_{i=m}^n h_i \tag{9}$$

式中: h_i 为灰度值; \overline{X}_k 为光条中心的位置.

3.4 视频提取方法

根据以上方法可以得到如下光条提取流程:

- (1) CCD 传感器拍摄视频图像,把视频图像的每幅图像同一帧中对应的像素提取出来,然后按时间顺序排列到一幅图像中(时间序列提取图);
- (2) 将时间序列提取图顺时针旋转,角度为 θ ;
- (3) 用重心法求旋转后图像的光条中心坐标;
- (4) 求得的光条中心图像逆时针旋转 θ , 得到需求的光条中心,根据光条中心反求物体的三维轮廓.

4 实验

CCD 传感器采用 23X11HC, 敏通公司; 激光器采用 LH650-8-3 (5), 西安华科光电有限公司; 采用图 1 所示装置测量一个圆柱体. 圆柱体直径为 120 mm, 包括上下 2 部分, 上部为白色, 下部为黑色, 相交处表面颜色有突变, 如图 5 所示.

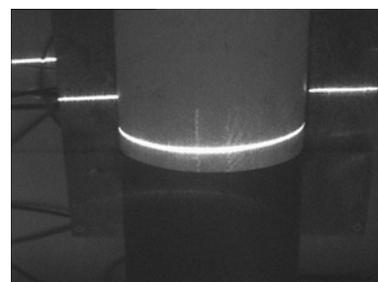


图 5 表面有颜色突变的圆柱体
Fig.5 Cylinder with color images mutation

CCD 传感器拍摄视频图像(共 98 帧), 把视频图像的每幅图像同一帧中对应的像素提取出来, 然后按

时间顺序排列到一幅图像中,如图6所示.

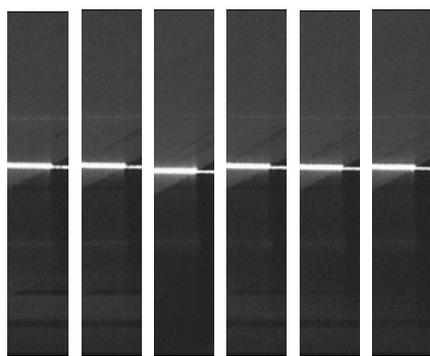


图6 提取的时间序列图像

Fig.6 Extraction of time-series images

根据第3节的分析,将图像顺时针旋转 θ 角度,本系统采用 45° ,旋转后的光条图像如图7所示.

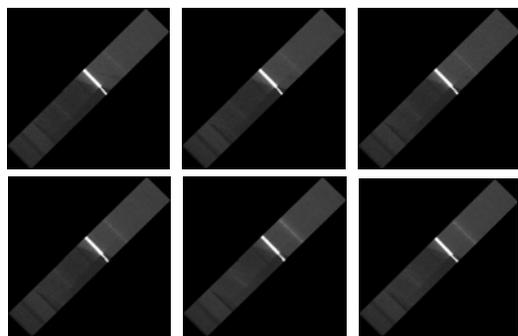


图7 旋转光条图像

Fig.7 Rotating image of light stripes

用重心法求图像的光条中心.由图6得到的光条中心坐标如图8所示,在颜色突变的位置,光条中心有向上的弯曲趋势,在反求物体三维轮廓的时候就会形成下凹的点云数据.由旋转后的光条图像得到光条中心坐标则不存在弯曲,降低了光条中心的提取误差.

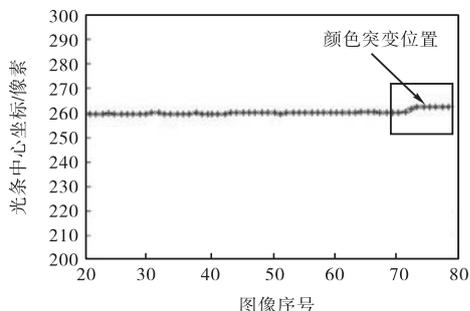


图8 传统方法提取的光条中心坐标

Fig.8 Light stripes center coordinates by original method

求得的光条中心图像逆时针旋转 45° ,得到需求的光条中心,根据这个光条中心提取物体的三维轮

廓.光条照射在表面颜色突变的交点时,用传统的方法反求出的三维点云数据如图9(a)所示,在颜色突变的交点处形成下凹.由图9(b)可以看出,通过本文方法得到的物体轮廓精度更高.

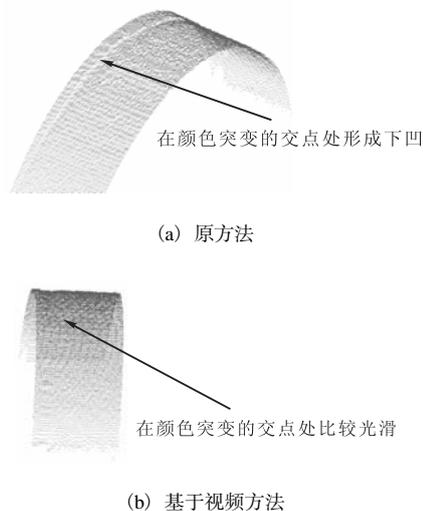


图9 原方法和基于视频方法得到的点云对比

Fig.9 Point cloud contrast of original method and method based on video

5 结 语

分析了结构光测量中影响光条中心提取精度因素.针对物体表面颜色突变的情况,提出基于视频的结构光光条中心提取方法.从实验可以看出,基于视频的结构光光条中心提取方法提高了光条中心的提取精度,从而提高了整个测量系统的测量精度.在物体表面颜色变化的情况下,通过此方法能够得到更高精度的物体三维轮廓.

参考文献:

- [1] 向长波,尹传历,宋建中. 抗干扰的光刀中心提取方法[J]. 光学精密工程,2008,16(7):1303-1308.
- [2] 贺俊吉,张广军. 结构光三维视觉检测中光条图像处理方法研究[J]. 北京航空航天大学学报,2003,29(7):593-597.
- [3] 吴剑波,崔振,赵宏,等. 光刀中心自适应阈值提取法[J]. 半导体光电,2001,22(1):62-64.
- [4] 任福元,许增朴,于德敏,等. 光三维测量中影响光条中心提取的因素及对策[J]. 微计算机信息,2006,22(32):256-261.
- [5] Brian Curless,Marc Levoy. Better optical triangulation through spacetime analysis[J]. IEEE International Conference on Computer Vision,1995,28(3):987-994.