

文章编号:1004-1478(2011)06-0064-03

提高双目视觉立体匹配精度的一种方法

林俊义, 黄常标, 刘斌, 江开勇

(华侨大学 模具技术研究中心, 福建 厦门 361021)

摘要:针对基于相位的立体匹配算法无法得到相位真实值而导致匹配精度不高的问题,提出了一种将格雷码与相位移结合的匹配方法.该方法采用 Otsu 法寻找最佳分割阈值,实现了格雷码边界的精确分割,并采用高斯滤波对正弦光栅图像进行滤波.实验结果表明,该方法可以计算出较高精度的绝对相位值,提高匹配精度,获得较好的测量结果.

关键词:光栅式双目立体视觉;立体匹配精度;Otsu 算法;高斯滤波

中图分类号:TP391.41

文献标志码:A

A method of improving binocular vision stereo matching accuracy

LIN Jun-yi, HUANG Chang-biao, LIU Bin, JIANG Kai-yong

(Mould and Die Tech. Research Center, Huaqiao Univ., Xiamen 361021, China)

Abstract: To resolve the problem of low stereo matching accuracy of current phase stereo matching algorithm, a matching method based on the combination of Gray code and phase-shift was put forward. The method used Otsu algorithm to gain the optimal segmentation threshold, and the accuracy segmentation of the Gray code image was carried out. The Gaussian filter was presented to filter the sine grating image, and the high precision phase could be obtained by combining with the Gray code. The object measuring experiment results indicated that this method can improve the matching accuracy and obtain the better measuring result.

Key words: raster binocular stereo vision; stereo matching accuracy; Otsu algorithm; Gaussian filtering

0 引言

光学三维测量技术具有非接触、速度快、精度高、测量范围大等特点,已广泛应用于许多领域^[1].其中主动式三维测量技术采用投射装置向被测物体投射不同种类的结构光,并拍摄经被测物体表面调制而发生变形的结构光图像,最后从携带被测物体表面三维形貌信息的图像中计算出被测物体的三维形貌数据.目前,应用较为广泛的主动三维测量技术是相位测量轮廓术^[2].利用相位法原理进行

三维物体轮廓测量,关键是要得到光栅的相位信息,然后从相位中提取出所包含的高度信息.目前获得相位的方法很多,其中较常用的是相移法和 FTP 法.这 2 种方法的求解过程不同,但最终都是利用反正切函数求解相位值,因此直接得到的相位在区间 $[-\pi, \pi]$ 内.然而,这样得到的是包裹的相位,并非相位的真实值.

针对光栅式双目立体视觉测量技术中的立体匹配精度问题,本文拟采用 DLP 投影仪投射数字正弦光栅与格雷码图片,用格雷码与相位移相结合的

收稿日期:2011-04-26

基金项目:福建省科技计划项目(2008H0085)

作者简介:林俊义(1977—),男,福建省莆田市人,华侨大学讲师,博士,主要研究方向为计算机视觉.

方法将相位展开,并对获取的图像进行必要的处理以获取高精度的相位值;最后在立体校正的基础上完成立体匹配,并结合三角法对被测物体进行三维重构.

1 立体视觉原理及其关键技术

光栅式双目立体视觉由2个CCD相机和1个DLP投影仪组成.通过摄像机标定可以获得相机的内外参数以及摄像机之间的位置关系,投影仪投射光栅图像到被测物体表面,由左右对称的2个CCD相机获取光栅图像.通过对光栅图像上的光栅进行解码,获取各个像素点的绝对相位值;然后以左图像为基准,在右图像中找到同1个物点的成像,完成立体匹配工作;最后利用同1个物点在左右图像中成像的视差,根据三角法即可计算出该点的空间坐标.目前光栅式双目立体系统的关键技术为摄像机标定技术与立体匹配技术.

1.1 摄像机标定技术

随着摄影测量和计算机视觉理论的发展,许多学者对摄像机标定技术进行了深入研究^[3-5].根据标定过程对标定物的要求不同,现有的摄像机标定方法分为传统标定方法、自标定方法和基于主动视觉的标定法.其中Z. Zhang^[3]的平面模板标定法介于自标定与传统标定之间,既具有较好的鲁棒性,又不需昂贵的精制标定块,在计算机视觉领域得到了较多的运用.本文采用此方法完成立体标定工作.

1.2 立体匹配技术

依据不同的标准,立体匹配算法^[6]有不同的分类方法:根据采用图像表示的基元不同,可分为基于区域的立体匹配算法、基于特征的立体匹配算法和基于相位的立体匹配算法;根据采用最优化理论方法的不同,可以分为局部立体匹配算法和全局立体匹配算法.因为采用格雷码与相位移相结合的技术可以快速完成立体匹配,所以本文选择基于相位的立体匹配算法.

2 立体匹配中的图像处理方法

相位匹配法中,相位计算的准确性直接影响到最终的测量结果.本系统采用数字投影仪投射5张格雷码图像和4张正弦相移图像.在CCD采集时,难免会受到噪声的影响,而格雷码图像只有黑白2种颜色,因此提取格雷码的关键在于黑白边界处理.本系统利用Ostu算法^[7]找出最佳边界分割阈

值,采用高斯滤波法对正弦光栅条纹进行滤波,以获取高精度的格雷码边界和正弦灰度值.

2.1 Ostu算法格雷码条纹分割

本系统中的格雷码图像是采用VC编程生成的数字图像,以最小灰度值0和最大灰度值255作为黑白条纹的灰度值.将图像投射到被测物体表面后,由CCD相机采集.由于物体表面的反射条件以及背景噪声的影响,格雷码黑白条纹的边缘灰度值不会是理想的0和255,因此需要选择合适的阈值以正确分割条纹边界,进而获得正确的格雷码值.

设 $f(i, j)$ 为 $M \times N$ 图像 (i, j) 点处的灰度值,灰度级为 L ,假设 $f(i, j)$ 取值为 $[0, L-1]$.若 $p(k)$ 表示灰度值为 k 的频率,则

$$p(k) = \frac{\text{灰度值为 } k \text{ 的点出现的次数}}{M \times N}$$

设用来分割目标与背景的灰度阈值为 t ,则目标和背景分别为 $\{f(i, j) \leq t\}$ 和 $\{f(i, j) \geq t\}$.

$$\text{目标部分比例 } \omega_0(t) = \sum_{0 \leq i \leq t} p(i).$$

$$\text{目标部分点数 } N_0(t) = MN \sum_{0 \leq i \leq t} p(i).$$

$$\text{背景部分比例 } \omega_1(t) = \sum_{t \leq i \leq L-1} p(i).$$

$$\text{背景部分点数 } N_1(t) = MN \sum_{t \leq i \leq L-1} p(i).$$

$$\text{目标均值 } \mu_0(t) = \sum_{0 \leq i \leq t} ip(t) / \omega_0(t).$$

$$\text{背景均值 } \mu_1(t) = \sum_{t \leq i \leq L-1} ip(t) / \omega_1(t).$$

$$\text{总均值 } \mu = \omega_0(t)\mu_0(t) + \omega_1(t)\mu_1(t).$$

$$\text{类间方差值 } \sigma = \omega_0(t)(\mu_0(t) - \mu)^2 + \omega_1(t)(\mu_1(t) - \mu)^2.$$

当类间方差值取最大值时,阈值 t 即为Ostu算法求得的最佳阈值.

考虑到后续立体匹配的方便性以及图像处理的速度,需进行2方面的处理:一是在双目相机进行立体标定的基础上,采用Bouguet方法对5张格雷码图像进行立体校正,校正后的图像再采用一维Ostu法寻找最佳阈值;二是采用二分法快速搜索阈值 t 的取值以减少计算量.

2.2 正弦光栅高斯滤波处理

在获取格雷码的基础上,采用四步相移法计算每个格雷码条纹周期内各个像素点的相位.假设图像上同一像素点在四步相移图像中的光强公式为

$$I_k = A(x, y) + B(x, y) \cos[\varphi(x, y) + \frac{k}{2}\pi]$$

其中, I_k 为该点的光强, $A(x, y)$ 为背景光强, $B(x, y)$ 为正弦亮度分布振幅值, $\varphi(x, y)$ 为该点相位.则相

位的求解公式可以表示为

$$\varphi(x,y) = \tan^{-1} \left[\frac{I_3(x,y) - I_1(x,y)}{I_0(x,y) - I_2(x,y)} \right]$$

通过 DLP 数字投影仪投射相位依次为 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ 的一组正弦条纹图案. 通过 CCD 相机对被测物体表面正弦光栅条纹进行采集, 相位值为 0 的正弦光栅如图 1 所示.

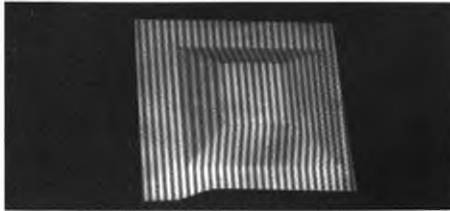


图 1 正弦光栅图

在图像上取有明显光栅条纹的一行, 将水平方向像素位置作为横坐标, 该像素的灰度值作为纵坐标, 绘制正弦条纹图像. 正弦光栅高斯滤波前后的效果如图 2 所示. 图 2a) 为局部放大图, 从图中可以看出, 由于受噪声影响, 在正弦的波峰与波谷处会出现灰度跳动, 而相位的计算是以灰度值为基础的, 所以必须对光栅图像进行处理. 图 2b) 为采用高斯滤波方法对正弦光栅图像进行处理的结果, 可以看出灰度分布的正弦性得到明显改善.

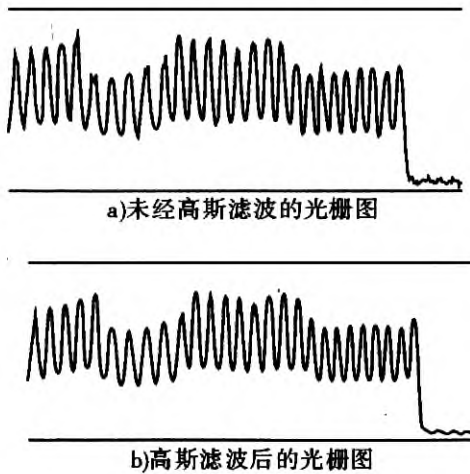
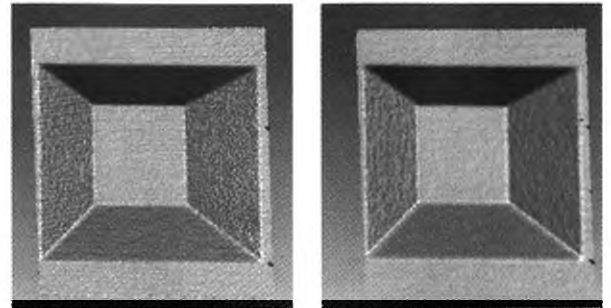


图 2 正弦光栅高斯滤波前后效果图

3 实验结果

实验系统由 1 台联想 T673 DLP 数字投影仪, 2 个 imagesource 130 万像素 CCD 相机构成. 系统对某台阶方块进行测量, 测量结果采用 Geomagic 进行

显示, 如图 3 所示. 图 3a) 为立体匹配前没有经过图像处理的结果, 图 3b) 为经过图像处理的结果. 可以看出经过图像处理得到的三维数据效果比较好.



a) 未经图像处理的立体匹配图 b) 经图像处理的立体匹配图

图 3 台阶方块三维数据效果图

4 结论

本文分析了双目立体视觉测量的关键技术, 提出了一种提高双目视觉立体匹配精度的方法, 采用 Ostu 算法与高斯滤波方法分别对格雷码图像和正弦图像进行图像处理, 并采用格雷码与相移结合的方法进行相位展开, 完成立体匹配工作. 该方法提高了立体匹配的精度, 获得了较高精度的三维表面形貌数据.

参考文献:

- [1] 尹丽萍, 于晓洋, 吴海滨. 格雷码与相移结合的结构光三维测量技术研究[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2007, 12(5): 5.
- [2] 李中伟. 基于数字光栅投影的结构光三维测量技术与系统研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
- [3] Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330.
- [4] Tsai R. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses [J]. IEEE J Robotics and Automation, 1987, 3(4): 323.
- [5] 杨雪荣, 张湘伟, 成思源, 等. 视觉测量中的相机标定方法进展研究[J]. 机械设计与制造, 2009(3): 259.
- [6] 翟振刚. 立体匹配算法研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2010.
- [7] 胡颖, 崔伟峰. Otsu 多阈值分割算法的研究[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2010, 25(4): 79.