

# 面状条纹结构光在三维人脸数据获取应用研究

邢书宝<sup>1,2</sup>, 薛惠锋<sup>1</sup>, 延秀娟<sup>3</sup>

(1. 西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072;

2. 西安科技大学 管理学院, 陕西 西安 710054;

3. 西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:**通过对已有的光学非接触测量技术: 光纤法、双目立体视觉法、干涉法、离焦法、轴向位移转换法和三角法的优缺点进行分析, 提出采用面状条纹结构光测量人脸三维数据, 采用投影仪产生的结构光场投影到待测三维人脸的表面, 对观察光场进行傅里叶分析、滤波和逆傅里叶变换, 从变形条纹中提取出人脸的三维信息, 取得了较好的试验结果。并分析了影响实验结果的因素, 得出结论: 面状条纹结构光测量人脸三维数据可以达到三维人脸识别的精度要求。

**关键词:** 三维人脸; 非接触测量技术; 面状结构光; 傅里叶轮廓术

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2009)01-0231-03

## Face Stripe Structure Ray Application Research Under Getting Data of Three Dimensional Human Face

XING Shu-bao<sup>1,2</sup>, XUE Hui-feng<sup>1</sup>, YAN Xiu-juan<sup>3</sup>

(1. Automation College, Northwest Industry University, Xi'an 710072, China;

2. Management School, Xi'an Science and Technology University, Xi'an 710054, China;

3. Management School, Xi'an Architecture Science and Technology University, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Analyzed the advantage and disadvantage of the follow optics non-contact measure techniques: ray fine method, two eyes solid vision method, intervenes way, leave anxious, axes way displacement shift method, trigonometric method. Put forward the method of using the face stripe structure light to measure human face and get three dimension data, adopt this kind of structure light which through projecting apparatus created projection to the human face which need to measure, and analyzed the observed ray field to carry through Fourier analysis, filtration waive and Fourier transform, and distilled the human three dimension information from the distortion stripe, get the better test result. Analyzed the factors of the effect test result, and drawn a conclusion: face stripe structure light measure face three dimension data can reach the precision of the three dimension human face recognizing.

**Key words:** three dimension human face; non-contact measure technique; face structure light; Fourier transform profilometry

## 0 引言

基于结构照明的光学三维传感技术在工业检测、质量控制、机器视觉、影视特技和生物医学等领域有着广泛的应用<sup>[1~3]</sup>。其中相位测量轮廓术(PMP)具有可以实现全场同时测量、精度高的优点;傅里叶变换轮廓术(FTP)具有单帧获取、适于动态测量的优点,成为结构照明型三维传感的主要方法。

近年来,随着对人类行为科学、人机交互技术的研究,自动身份验证、安全监视监控系统等应用领域的需求,计算机人脸检测、定位和识别技术受到了广泛的重视。人脸二维和三维模型获取不同的脸部外貌特征,二维图像中的灰度值表示了人脸表面亮的数据,信息量更为丰富,更有利于提高识别效率。原理上,现有的基于结构光照明的三维面形测量方法可以用于人脸三维信息获取,提出一种基于面状结构光的人脸三维面形测量方法,它采用普通 CCD 相机和近面状结构照明,通过投影面状条纹在人脸表面,采用傅里叶变换轮廓术方法获取人脸三维信息<sup>[4,5]</sup>。

这种方法对检测对象不具有侵犯性,也满足特定环境隐蔽测量的要求,在三维人脸识别领域具有明显的应用前景。

收稿日期:2008-04-08

基金项目:陕西省科技攻关计划(2005K04-G13);西北工业大学种子基金项目(200747)

作者简介:邢书宝(1979-),男,内蒙古呼伦贝尔人,讲师,博士研究生,研究方向为数据挖掘、信息安全;薛惠锋,教授,博导,研究方向为信息化工程、资源环境工程。

## 1 常用三维曲面非接触测量方法

光学非接触测量技术大体上可分为光纤法、双目立体视觉法、干涉法、离焦法、轴向位移转换法和三角法<sup>[6,7]</sup>。各种测量方法的比较如下:

(1) 光纤法:通过被测量的变化来调制波导中的光波,使光纤的光波参量随被测量的变化而改变,从而求得被测信号的大小。具有灵敏度高、耐腐蚀、电绝缘、不受电磁干扰、光路可挠曲、便于遥测等许多优点,但价格较高。

(2) 双目立体视觉法:两台相对位置固定的摄像机与被测物构成三角形,被测物体在两像面上颜色不均匀,则匹配不可实现;测量时,两摄像机位置相隔越远,视差深度计算越精确,但盲区现象越严重,覆盖视场越小。

(3) 干涉法:利用干涉原理进行测量,各种类型的干涉显微镜都可用于被测物表面形貌的非接触测量。这种方法具有高分辨率和高测量精度的特点,但电路较为复杂,对被测表面质量要求很高,通常需要精密制造的参考镜。而且测量范围偏小。

(4) 离焦法:将位移量首先转换为物镜像平面相对于被测面的偏移量,再由不同的转换元件(离焦检测元件)将这种偏移量转换为光电探测器上光斑强度或大小的变化,进而转换为电量输出的变化。这种方法具有较高的分辨率,易形成小型化测头,适于在线测量;缺点是工作距离偏小。

(5) 轴向位移转换法:将被测物相对于物镜前焦点的位移量转换为探测器上的轴向位移量,进而求出被测点与物镜前焦点的相对距离。

(6) 三角法:入射光照射到被测表面,接收器接收被测表面的散射光。成像光点在接收器上的位置是测头和被测表面距离之间的函数,检测像点的位移变化可求得物体表面位移变化。优点是结构简单、分辨率高、工作距离大;但原理上存在非线性,被测面表面质量对测量结果有影响,且被测面倾角不宜大于 45°。

## 2 面状结构照明

文中采用面状结构照明就是采用面状光作为光源,通过投影仪投影彩色条纹,从而产生面状结构光。文中采用的是普通的彩色 CCD 相机,通过投影仪产生面状条纹结构光,采用的试验原理是三角法测量人脸三维数据。

1983 年, M. Takeda 和 K. Muloh 首次提出了基于傅里叶变换的三维传感技术,又称为傅里叶轮廓术(Fourier transform profilometry, 简称 FTP)<sup>[8]</sup>。这种方法是用罗奇光栅产生的结构光场投影到待测三维物体

的表面,对观察广场进行傅里叶分析、滤波和逆傅里叶变换,就可以从变形条纹中提取出物体的三维信息。其基本原理如下:首先通过投影系统将光栅投影在参考平面上 CCD 摄像系统中得到了一条纹分布:

$$g(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n \exp\{j[2\pi n f_0 x + n \phi_0(x, y)]\} \quad (1)$$

式中,  $x$  轴与光栅条纹方向正交,  $y$  轴与光栅条纹方向平行,  $f_0$  代表光栅像的基频,  $\phi_0(x, y)$  代表初始位相调制。

然后将该光栅像投影到所测的漫反射物体表面,摄像系统得到受物体高度调制的变形条纹分布:

$$g(x, y) = r(x, y) \sum \exp\{j[2\pi n f_0 x + n(x, y)]\} \quad (2)$$

式中,  $r(x, y)$  为代表物体表面反射率分布的函数,  $(x, y)$  为由于物体表面高度变化引起的位相调制。FTP 方法对方程(2)沿  $x$  轴方向进行一维傅里叶变换,得到的频谱中零频反映的是背景光强分布,基频包含了所要求的位相信息。通过设计合适的带通滤波器,可以将其中一个基频分量滤出来,然后对其进行逆傅里叶变换,得到的分布可以表示为:

$$G_0(x, y) = A_1 r(x, y) \exp\{j[2\pi f_0 x + n(x, y)]\} \quad (3)$$

定义调制函数为:

$$m(x, y) = G(x, y) = A_1 r(x, y) \quad (4)$$

对参考平面的光强分布(1)式进行相同的滤波操作,得到:

$$G(x, y) = A_1 \exp\{j[2\pi f_0 x + \phi_0(x, y)]\} \quad (5)$$

由投影光路的简单几何关系,  $\Delta(x, y) = (x, y) - \phi_0(x, y)$  对应着物体的高度分布  $h(x, y)$ , 因此只需要求出  $\Delta(x, y)$ , 即可得到物体的三维表面高度分布。从式(3)和式(5)可得到:

$$W[\Delta(x, y)] = \text{Im}\{\log[G(x, y) \times G^* \phi_0(x, y)]\} \quad (6)$$

式中,  $G^* \phi_0(x, y)$  表示复共轭, 求出的截断位相差  $W[\Delta(x, y)]$  分布在区间  $(-\pi, \pi)$  上, 呈锯齿状的不连续分布, 需要进行位相展开, 将  $2\pi$  的截断连起来, 得到连续的位相分布  $\Delta(x, y)$ 。

## 3 试验结果及讨论

在试验中, 选用波长为 830nm 的近面状光源, 选择真实的人脸作为物体模型, 选用一个普通的彩色 CCD 作为摄像系统, 试验条件是在光照度较弱的房间里进行的。为了测量的准确性, 背景平面作为一个参考平面框架, 然后把人脸放到框架内, 再拍出变形条纹图。试验得到的面状结构光图像如图 1 所示。



(a) 正面人脸条纹图

(b) 侧面人脸条纹图

图1 人脸条纹图

从图1可以看出,由于采用的光源功率较小,获取的图像亮度较低。经过傅里叶变换,滤波和逆傅里叶变换,重建的人脸三维分布如图2所示。

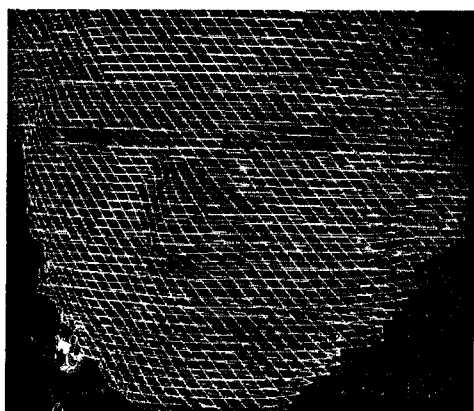


图2 人脸数据点云数据建模图

图中,脸部轮廓基本清晰,各个部位特征明显,可满足人脸三维识别的要求。影响三维重建精度的主要因素包括 CCD 和图像卡的噪声、相位测量精度、相位展开算法、结构光图像对比等。如果采用高功率的光源和调制相位展开算法的话,另外在试验中在 CCD 镜头前加入面状带通滤波片,从而削弱外界光的干扰,这样的话图像效果会更好。

此外,采用噪声相对较少 CCD 和图像采集卡的

话,图像质量会进一步提高。

#### 4 结束语

通过投影面状条纹在人脸表面,采用傅里叶变换轮廓术方法获取人脸三维信息,该方法原理简单、测量结果精度较高。试验结果表明:采用面状结构光的三维人脸测量是可行的,面状条纹结构光测量人脸三维数据可以达到三维人脸识别的精度要求,这种方法在三维人脸

识别领域具有明显的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 杜颖,张国雄,李真. 三维曲面的光学非接触测量技术[J]. 光学精密工程,1999,7(3):3-5.
- [2] Zhang Jihua, Cai Lilong. Profilometry using an optical stylus with interferometric readout[J]. Measurement Science & Technology, 1997, 8: 546-549.
- [3] 苏显渝,李继陶. 三维面形测量技术的新进展[J]. 物理, 1996, 25(10): 614-620.
- [4] Zeng Lijiang, Matsumoto H, Keiji K. Two-directional scanning method for reducing the shadow effects in laser triangulation[J]. Measurement Science & Technology, 1997, 8: 262-266.
- [5] Ji Z, Leu M C. Design of optical triangulation devices[J]. Optics & Laser Technology, 1989, 21(5): 335-338.
- [6] 邹振书,李喜增,张景和,等. 非接触测量激光光学探头[J]. 光学精密工程,1997,5(3):83-89.
- [7] Toyooka S, Iwaasa Y. Automatic profilometry of 3-D diffuse objects by spatial phase detection[J]. Applied Optics, 1986, 25(10): 1630-1633.
- [8] Tang Shouhong, Huang Yau Y. Fast profilometer for the automatic measurement of 3-D object shapes[J]. Applied Optics, 1990, 29(20): 3012-3018.

(上接第230页)

- [19] Grote A, Butenuth M, Gerke M, et al. Segmentation Based on Normalized Cuts for the Detection of Suburban Roads in Aerial Imagery[J]. In Proceeding of IEEE Urban Remote Sensing Joint Event. Paris: [s. n.], 2007: 1-5.
- [20] Tamarapalti V, Srinivasan S H. Normalized Cuts for Wavelength Converter Placement[C]. //IEEE High Performance Switching and Routing (HPSR). Phoenix, Arizona, USA: [s. n.], 2004: 292-296.
- [21] Lagrange M, Tzanetakis G. Sound Source Tracking and Formation Using Normalized Cuts[C]. //In Proceedings of the

IEEE International Conference on Speech and Signal Processing. Honolulu, USA: [s. n.], 2007: 15-20.

- [22] He XiaoFeng, Zha HongYuan, Chris H Q, et al. Web Document Clustering Using Hyperlink Structures[J]. Computational Statistics & Data Analysis, 2002, 41(1): 19-45.
- [23] Damjanovic U, Izquierdo E. Asymmetric and Normalized Cuts for Image clustering and Segmentation[C]. //In Proceeding of the 8th Seminar on neural Network Application in Electrical Engineering. Belgrade, Serbia & Montenegro: [s. n.], 2006: 5-9.