

文章编号: 0253-2239(2010)03-0720-07

基于调制度分析的快速三维物体识别方法

王莹 苏显渝

(四川大学 电子信息学院光电系, 四川 成都 610064)

摘要 提出了一种基于调制度分析的快速三维物体识别方法。将两个有一定间距且正交的光栅同时投影到被识别物体表面上,使被识别物体位于两个光栅正焦像面之间,从同一方向获取被物体高度信息调制的正交光栅像,而物体的高度信息就被编码在这个图像中。采用傅里叶变换和空间频域分析,可分别得到两个方向上的基频。然后计算识别参数(每个基频强度的和)的值,识别参数值可以被看作是二维识别空间的一个点,对于不同形状的物体,识别参数值是不同的,所以不同物体的识别参数将对应识别空间不同的位置。计算机模拟实验和实际物体的识别实验证明了此方法的有效性。

关键词 三维物体识别;调制度测量;条纹分析;傅里叶变换;识别参数

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20103003.0720

A Fast Three-Dimensional Object Recognition Based on Modulation Analysis

Wang Ying Su Xianyu

(*Opto-Electronic Department, School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China*)

Abstract A novel method for the three-dimensional (3-D) object recognition based on modulation analysis is proposed. Two orthogonal gratings with equal interval are vertically projected on an object surface, and the measured object is placed between the focusing planes of the two gratings. Then the image of orthogonal grating modulated by the object height can be obtained by a CCD camera from the same direction, and the object height information is encoded in this image. They are processed by the operations consisting of performing the Fourier transform, spatial spectrum analysis, so the fundamental spectrum in two directions can be obtained. Then the recognition parameter (the sum of the intensity of each fundamental spectrum) is calculated. The values of recognition parameter are treated as a point in the recognition space. If the shape of object is different, the values of recognition parameter are also different. The different objects will be shown in the different positions because of the deference of the values of recognition parameter. Both computer simulation and experimental results are presented in support of the proposed idea.

Key words three-dimensional (3-D) object recognition; modulation measurement; analysis of the fringe pattern; Fourier transform; recognition parameter

1 引言

多数传统的光学模式识别方法^[1~4]是处理二维物体或二维图像,但是物体的信息不仅包含在物体

的强度像里,还包含在物体的高度信息里,丢失了物体的高度信息大大增加了这些方法识别三维物体的难度。随着三维测量技术的发展^[5~7],包含物体完

收稿日期: 2009-04-13; **收到修改稿日期**: 2009-05-15

基金项目: 国家自然科学基金(60838002)资助课题。

作者简介: 王莹(1981—),女,博士研究生,主要从事光学模式识别及光电三维传感等方面的研究。

E-mail: wyyw0325@163.com

导师简介: 苏显渝(1944—),男,教授,博士生导师,主要从事光学三维传感及机器视觉领域等方面的研究。

E-mail: xysu@scu.edu.cn

整的三维信息的识别方法越来越引起人们的兴趣。先后提出了采用全息术的三维物体识别方法^[8,9]、基于傅里叶变换轮廓术的三维物体识别方法^[10,11]和分数傅里叶联合变换相关器^[12]等。这些方法在不同情况下提高了识别性能,但是也存在一些不足,如只能识别平移的物体,而不能识别在平面内旋转后的物体;以及还需要复杂的三维测量系统和繁琐的数据处理。

调制度测量轮廓术^[13~15](MMP)是将一个正弦光栅垂直投影到物体表面,然后平移投影系统,采集多幅条纹调制度图,寻求调制度最大值的位置解调出物体的高度。在这个方法中需要对物体进行垂直方向的扫描,测量速度受到影响。提出了一种基于正交方向空间载频的快速调制度测量轮廓术(FMMP)^[16],该方法将两个有一定间距且正交的正弦光栅同时成像在被测物体上,并使被测物体位于两个光栅成像面之间,采用空间频域滤波将正交光栅图像分离,得到被测物体经正交光栅调制的两个调制度图像,利用其比值和高度的对应关系恢复出物体高度。

实质上,这种快速调制度测量轮廓术中空域编码和频域解码的方法为三维物体识别提供了一种新思路。本文提出了一种基于调制度分析的快速三维物体识别方法。该方法将两个有一定间距且正交的正弦光栅同时投影到被识别物体表面,并使被测物体位于两个光栅正焦像面之间,从同一方向获取被物体高度信息调制的正交光栅像,物体的高度信息被编码在正交光栅像中。由于编码方法的巧妙设

计,不同方向的光栅对物体不同高度信息的传递权重正好相反,因此正交光栅像的频谱提供了识别物体的参数。将频谱空间两个不同方向上的基频能量定义为识别参数(每个基频的强度的和),就能够确定该物体在二维识别空间中的位置,从而达到识别目的。此方法是以物体的基频能量为识别参数,即使物体发生平移或者旋转后,它们的空间频率也是不变的,所以它具有平移和旋转不变性。由于条纹投影方向和观察方向相同,还避免了阴影对三维识别的干扰。

2 原 理

两个相距一定距离的互相垂直的正弦光栅经过透镜成像到被测物体表面,物体处于两个光栅成像面的中间,如图 1 所示。在每个正弦光栅的成像面上,条纹对比度最大,而在成像面前后,条纹对比度逐渐降低,如果用 CCD 相机通过一个半透半反镜从同一个方向就可获取受到正交光栅调制的物体表面图像。在快速调制度测量轮廓术中^[16],采用傅里叶变换、双通道空间频域滤波和逆傅里叶变换,将正交光栅图像分离,而得到两个光栅像在物体表面的调制度分布,然后只要计算其比值和高度的对应关系,就可恢复出物体高度。这种快速调制度测量轮廓术中正交光栅空域编码的方法,其实质是将物体表面不同高度的信息转换到频域空间不同的方向上。因此频域上的能量分布提供了物体表面不同高度分布的重要参数。

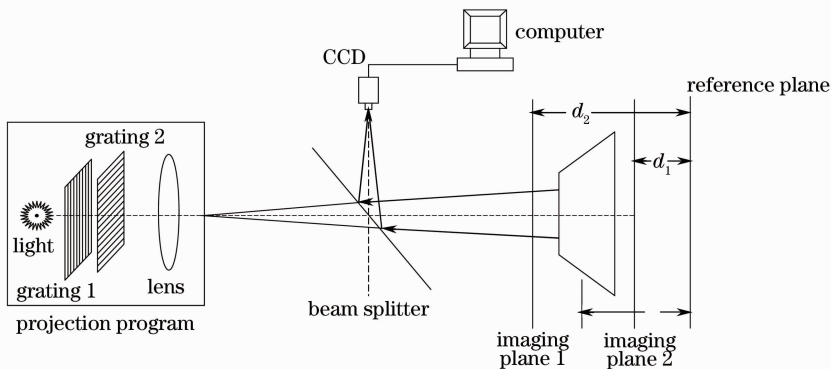


图 1 基于调制度分析的快速三维物体识别方法的实验装置图

Fig. 1 Setup of the fast 3-D object recognition based on modulation analysis

将两个相距一定距离的相互垂直的正弦光栅投影到被测物体表面,CCD 光轴与投影光轴重合,获得的条纹不会发生变形,但对比度会有所变化,物体表面的条纹强度分布可表示为

$$I(x, y) = I_0 + C_1(x, y)\cos(2\pi f_1 x + \phi_{01}) + C_2(x, y)\cos(2\pi f_2 y + \phi_{02}), \quad (1)$$

式中 I_0 是背景强度, $C_1(x, y)$ 和 $C_2(x, y)$ 是获得条纹的对比度, f_1 和 f_2 是投影光栅的空间频率, ϕ_0 是

初相位。

对(1)式两边作二维傅里叶变换可得到它的傅里叶频谱,它由5部分组成

$$G(f_x, f_y) = G_0(f_x, f_y) + G_{1,1}(f_x, f_y) + G_{1,-1}(f_x, f_y) + G_{2,1}(f_x, f_y) + G_{2,-1}(f_x, f_y), \quad (2)$$

式中 $G_0(f_x, f_y)$ 是零级谱, $G_{1,1}(f_x, f_y)$ 和 $G_{2,1}(f_x, f_y)$ 是一级谱, $G_{1,-1}(f_x, f_y)$ 和 $G_{2,-1}(f_x, f_y)$ 负一级谱。然后采用圆柱形滤波函数可分别滤出两个正交方向上的基频 $G_{1,1}(f_x, f_y)$ 和 $G_{2,1}(f_x, f_y)$ 。

正交光栅空域编码的实质,是将物体表面不同高度的信息以调制度为权重转换到频域空间不同的方向上。因此频域两个方向上基频的能量分布提供了物体表面不同高度分布的重要参数。

定义一对识别参数,它被定义基频能量与总能量的比值。考虑到探测器获取图像的离散抽样形式,基频的能量值在频域等于基频分量中各像素点频谱强度(模的平方)之和,在空域等于空域各像素点强度与该像素点对应的调制度乘积之和,则识别参数的数学形式为

$$R_x = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N |G_{1,1}(f_x, f_y)|^2}{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N |G(f_x, f_y)|^2} = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N I(x, y) M_1(x, y)}{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N I(x, y)}, \quad (3)$$

$$R_y = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N |G_{2,1}(f_x, f_y)|^2}{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N |G(f_x, f_y)|^2} = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N I(x, y) M_2(x, y)}{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N I(x, y)}, \quad (4)$$

式中 N 为探测器的像素阵列值, $M_1(x, y)$ 和 $M_2(x, y)$ 分别是横竖光栅的像在物体表面的调制度分布,它们与条纹对比度 $C(x, y)$ 成正比,并且包含着物体的高度信息。

因为在调制度测量轮廓术中,图像上一点的调制度函数与物体的高度函数有关,且对于正弦条纹的调制度函数在成像面前后满足高斯函数形式,可定义为^[15]

$$M(x, y) = M_0(x, y) \exp\left[-\frac{c}{2} f_i^2 (d - d_i)^2\right], \quad (5)$$

式中 $M_0(x, y)$ 是光栅成像面上的调制度分布, c 是由系统决定的常数, f_i 是投影光栅的空间频率, d 是物体上某一待测点到参考平面的距离, d_i 是光栅成像面到参考平面的距离。

根据(5)式,横竖光栅的像在物体表面的调制度分布可以分别表示为

$$M_1(x, y) = M_0(x, y) \exp\left\{-\frac{c}{2} f_1^2 [z(x, y) - d_1]^2\right\}, \quad (6)$$

$$M_2(x, y) = M_0(x, y) \exp\left\{-\frac{c}{2} f_2^2 [z(x, y) - d_2]^2\right\}. \quad (7)$$

最后识别参数的空域表达式可以写为

$$R_x = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N I(x, y) M_0(x, y) \exp\{-c/2f_1^2 [z(x, y) - d_1]^2\}}{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N I(x, y)}, \quad (8)$$

$$R_y = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N I(x, y) M_0(x, y) \exp\{-c/2f_2^2 [z(x, y) - d_2]^2\}}{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N I(x, y)}. \quad (9)$$

因此对于一个物体,能够得到两个识别参数值,即 R_x, R_y 。根据识别参数空域表达式可知,它们只与物体高度分布函数有关。而它们又与频域中基频的能量分布是等价的,所以通过分析频域两个方向上基频的能量分布,很容易在频域识别物体。这样,就使得空域中三维物体的识别变得容易化。在一个二维识别坐标系中,可以根据 R_x 和 R_y 的值来确定该物体的位置。同时从(8), (9)式也可看出,对于两种高度分布函数,可能会得到相同的识别参数值,但是在实际识别工业元件或样品时,通常这些元件的区别不会太大,碰到高度分布不同而识别参数值相同的物体的几率很小。所以,对于不同的物体,它们的识别参数值是不同的,所以不同的物体就应该出现在坐标系的不同位置,且物体在平面内平移和旋转,也不会影响识别参数值的变化。

3 计算机模拟实验

模拟实验中,选取5个相似的梯形物体,下底面均是边长为150 mm的正方形,而只有高度不同,分

别为 60 mm(物体 a),64 mm(物体 b),68 mm(物体 c),72 mm(物体 d)和 76mm(物体 e),高度是依次递增的。从这些物体的二维强度图中,它们是根本无法分辨的。其中之一(物体 a)如图 2 所示。

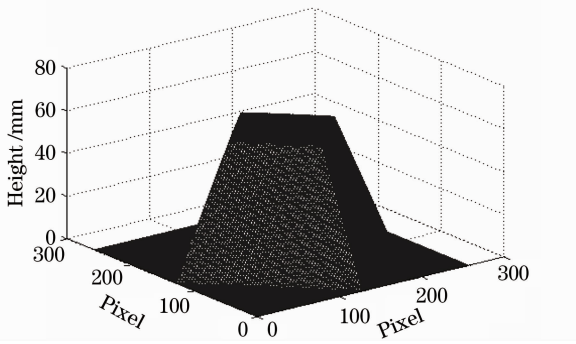


图 2 待识别物体 a

Fig. 2 Recognized object a

采用的识别系统参数为:两个光栅的空间频率 $f_1 = f_2 = 2\text{mm}^{-1}$,投影透镜的焦距 $f_0 = 58\text{ mm}$,透镜直径 $d = 40\text{ mm}$,两个光栅间的距离 $\Delta d = 0.5\text{ mm}$ 。所有模拟在 Matlab 软件平台上执行。

两个光栅同时垂直投影到每个物体表面后, CCD 相机可同轴获取受光栅调制的物体表面图像,其中物体 a 的条纹调制度图,如图 3 所示。所有图的大小都是 $256\text{ pixel} \times 256\text{ pixel}$ 。这些调制度图像经过傅里叶变换后,可得到其傅里叶频谱,这里仅以物体 a 为例,如图 4 所示。因为采用的是正交光栅,所以从图 4 可以看出,其基频在空间上是分开的,这样可以使滤波简单化。表 1 展示了采用本文方法对 5 个物体识别计算后得到的在不同方向上的识别参数 R_x 和 R_y 值,即它们分别在水平方向和垂直方向上的归一化的基频能量值。从表 1 中能够看出,对于不同的物体, R_x 的值随着物体高度的增加而减小,即在水平方向上的基频能量是随着物体高度的增加而减小; R_y 的值随着物体高度的增加而增加,即在垂直方向上的基频能量是随着物体高度的增加而增加。而且对于同一物体,一个方向上基频能量总是低于另一个方向上的基频能量,所以能够利用这个性质来识别不同的三维物体。最后,图 5 形象地显示了在二维识别空间,采用本文方法得到的模拟识别输出结果。从这个识别输出结果可以看出,随着物体高度的递加, R_x 的值是减小的,而 R_y 的值是增大的,而且由于这 5 个待识别物体的形状一样,高度是单调递增的,所以代表它们的 5 个点在识别空间的分布也是随着高度的增加而单调递增的。总之,对于外形相似的物体,本文的方法具有非常灵

敏的识别能力。尤其对于那些从二维强度图观察根本无法分辨的物体,该方法能够很容易地将它们在空间分开。

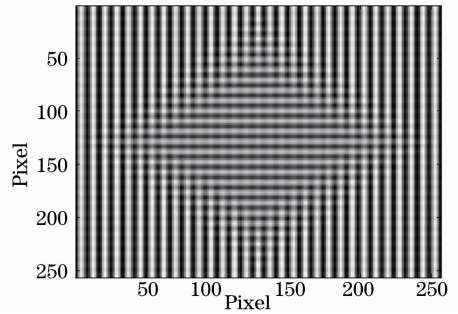


图 3 待测物体 a 的条纹调制度图

Fig. 3 Fringe modulation patterns of the measured object a



图 4 物体 a 的调制度图的傅里叶频谱

Fig. 4 Fourier spectra of the modulation patterns for object a

表 1 5 个待识别物体的识别参数值

Table 1 Values of recognition parameter for five objects

Objects (height)	R_x	R_y
Object a (60 mm)	0. 01997	0. 00319
Object b (64 mm)	0. 01959	0. 00345
Object c (68 mm)	0. 0 1927	0. 00368
Object d (72 mm)	0. 01898	0. 00389
Object e (76 mm)	0. 01873	0. 00407

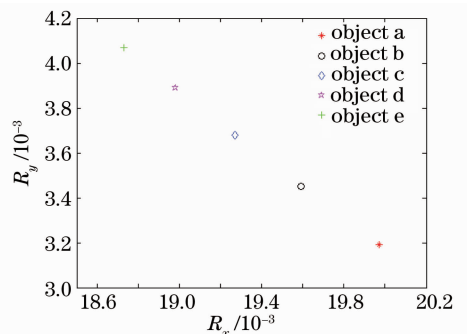


图 5 本方法的模拟识别输出结果

Fig. 5 Simulation recognition output of the proposed method

为了说明本文方法同时具有平移和旋转不变性,又进行了平移和旋转不变性的计算机模拟。首先将物体的中心位置由原来的(126, 126) pixel 平移到(136, 136) pixel。然后物体再在原来的中心位置处从 0 旋转到 80°, 旋转间隔是 10°。同时为了评估此方法具有的抗噪能力,之后又在物体的条纹调制图上附加了零均值和标准差 $\sigma=5\%$ 的高斯噪声,再次对平移和旋转了的物体进行识别。

表 2 的结果显示出物体 b 由原来的位置平移了 10 pixel 后,无论是在无噪声还是有噪声的情况下,它的识别参数值都与平移前是一样的。而且在有噪声的情况下, R_x 和 R_y 的值也基本没有改变。这说明了本方法具有平移不变性,而且噪声不影响平移不变性。表 3 显示了物体 b 在平面内从 0 旋转到 80° 后的识别参数值,从这个结果看出在无噪声的情况下,物体 b 旋转后的识别参数值都没有发生变化,说明了本方法具有旋转不变性;在有噪声的情况下,识别参数的变化值略有一点点变化,但几乎不会影响对不同物体的识别,这可以从图 6 看出。图 6 显示了在噪声下物体从 10° 旋转到 80° 后的模拟识别输出结果,这个结果表明,在有噪声的情况下,5 个物体同样能被区分开来,且和图 5 得到的结论一致。此外,每个物体旋转后,根据它们的识别参数值得到的空间坐标基本都是围绕在旋转前的坐标的周围,这样就证明了本方法不仅具有旋转不变性,而且还具有抗噪能力。

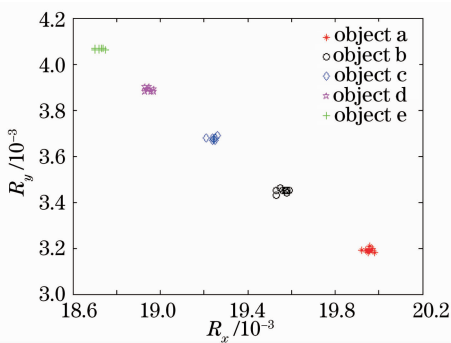


图 6 在噪声下物体旋转后的模拟识别输出结果

Fig. 6 recognition output of the objects after being rotated with noise

4 光学实测实验

实验采用的系统如图 1 所示,被识别物体选用 3 个不同工艺阶段的冲压零件,如图 7 所示。它们的高度依次递增,并且 3 个的最大高度差不超过 4 mm,所以从图 7 中基本无法分辨它们。CCD 摄

像机获取受光栅调制的物体 1 的表面图像就如图 8 所示,摄像机分辨率为 768 pixel × 1024 pixel。

表 2 物体 b 平移后的识别参数值

Table 2 Values of recognition parameter of the object b after being shifted

Object	Central position of the measured object is the (126, 126) pixel		Central position of the measured object is the (136, 136) pixel	
	R_x	R_y	R_x	R_y
Object b (without noise)	0.01959	0.00345	0.01959	0.00345
Object b (with noise)	0.01953	0.00345	0.01953	0.00345

表 3 物体 b 在平面内旋转后的识别参数值

Table 3 Values of recognition parameter of the object b after being rotated in the plane

Rotated angle	Object b (without noise)		Object b (with noise)	
	$R_x/10^{-1}$	$R_y/10^{-1}$	$R_x/10^{-1}$	$R_y/10^{-1}$
0	0.1959	0.0345	0.1953	0.0345
10°	0.1959	0.0345	0.1957	0.0345
20°	0.1959	0.0345	0.1955	0.0346
30°	0.1959	0.0345	0.1956	0.0345
40°	0.1959	0.0345	0.1958	0.0345
50°	0.1959	0.0345	0.1958	0.0344
60°	0.1959	0.0345	0.1958	0.0345
70°	0.1959	0.0345	0.1959	0.0345
80°	0.1959	0.0345	0.1953	0.0343

表 4 给出了 3 个实测物体的识别参数值,即分别在水平方向和垂直方向上归一化的基频能量值。最后根据不同方向上的识别参数值,就能够得到在二维识别空间的识别输出结果,如图 9 所示。分析表 4 和图 9 的结果所得到的结论和从表 1 和图 5 得到的结论是一致的,即对于形状相同、高度递增的物体,随着物体高度递加, R_x 的值是减小的,而 R_y 的值是增大的,所以在识别空间它们的分布也是随着高度的增加而单调递增的。那么如果之前并不知道这 3 个物体的高度顺序排列,也能根据这一结论,来分析出物体 1 低于物体 2,物体 2 低于物体 3。这 3 个从二维强度图观察根本无法分辨的物体,采用本方法就能够很容易地将它们区别开来,所以该方法具有非常好的识别能力。

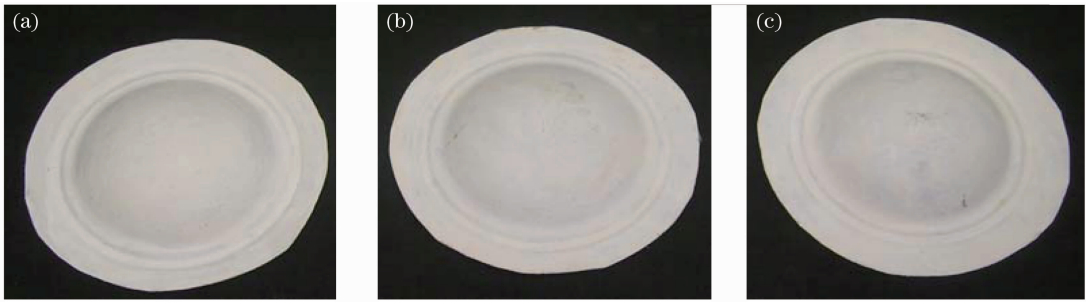


图 7 实拍的待识别零件。(a)物体 1;(b)物体 2;(c)物体 3

Fig. 7 Recognized object. (a) object 1; (b) object 2; (c) object 3

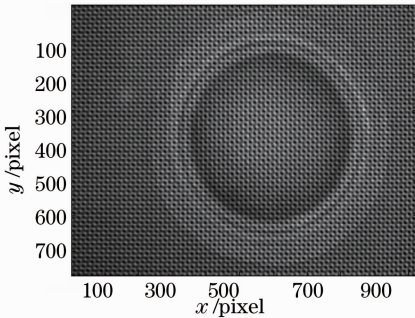


图 8 实拍物体 1 的条纹调制度图

Fig. 8 Fringe modulation patterns of the object 1

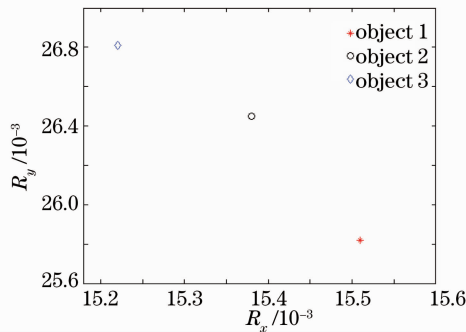


图 9 本方法的识别输出结果

Fig. 9 Recognition output of the proposed method

表 4 3 个实测物体的识别参数值

Table 4 Values of recognition parameter for three objects

Objects	R_x	R_y
Object 1	0.01551	0.02582
Object 2	0.01528	0.02645
Object 3	0.01522	0.02681

通过比较表 1 和表 4 的结果,发现对于模拟的 5 个物体,每个物体的 R_x 值都大于 R_y 值,即水平方向上的基频能量值高于垂直方向上的基频能量值;而对于这 3 个真实物体,每个物体的 R_x 值都小于 R_y 值,即水平方向上的基频能量值低于垂直方向上的基频能量值。因为根据识别参数识别参数值的定义,识别参数不仅是高度分布的函数,还与光栅成像面的位置有关,即与物体放置的位置有关。当物体

放在两光栅成像面之间时,随物体高度的变化, R_x 和 R_y 值一定是一个增大,一个减少;而当物体位置放置在两光栅成像面之间的某合适位置时,又可能会出现 R_x 和 R_y 值相等的情况;而当物体放在两光栅成像面之外时,则并非如此。而本文中识别物体恰位于两个光栅成像面之间,于是得到了表 1 和表 4 的结果。

5 结 论

提出一种新的光学三维物体识别方法。该方法在调制度分析的基础上,通过空域编码将物体表面不同高度的信息按不同权重编码在不同的频域通道上,采用傅里叶变换和空间频域分析,通过双通道来识别三维物体。它不仅具有平移和旋转不变性,并且具有一定的抗噪能力,以及避免了阴影对三维识别的干扰。尤其对于那些从二维强度图来看几乎无法分辨的物体,该方法具有非常良好的识别性能。

参 考 文 献

- 1 M. S. Alam, E. H. Horache. Optoelectronic implementation of fringe-adjusted joint transform correlation [J]. *Opt. Commun.*, 2004, **236**: 59~67
- 2 Tian Ying, Yuan Weiqi. Ear recognition based on fusion of scale invariant feature transform and geometric feature [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(8): 1485~1491
田 莹, 苑玮琦. 尺度不变特征与几何特征融合的人耳识别方法 [J]. *光学学报*, 2008, **28**(8): 1485~1491
- 3 J. A. Butt, T. D. Wilkinson. Binary phase only filters for rotation and scale invariant pattern recognition with the joint transform correlator[J]. *Opt. Commun.*, 2006, **262**(1): 17~26
- 4 A. Bhagatji, N. K. Nishchal, A. K. Gupta *et al.*. Wavelet-modified fringe-adjusted joint transform correlater[J]. *Opt. & Laser Technol.*, 2008, **40**: 99~112
- 5 S. Xianyu, C. Wenjing. Fourier transform profilometry: a review[J]. *Opt. & Lasers in Engng*, 2001, **35**: 263~284
- 6 Wu Di, Lü Naiguang, Ouyuan Jing. A structured light three-dimensional measurement method based on unconstrained system configuration [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3): 482~486
吴 迪, 吕乃光, 欧阳京. 基于无约束系统的结构光三维测量方法 [J]. *光学学报*, 2008, **28**(3): 482~486
- 7 Wu Qingyang, Li Jinzhen, Su Xianyu *et al.*. An approach for

- calibrating rotor position of three-dimensional measurement system for line-structure light [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(8): 1224~1227
- 吴庆阳, 李景镇, 苏显渝等. 线结构光三维测量系统中旋转轴的标定方法[J]. *中国激光*, 2008, **35**(8): 1224~1227
- 8 T. C. Poon, T. Kim. Optical image recognition of three-dimensional objects[J]. *Appl. Opt.*, 1999, **38**: 370~381
- 9 B. Javidi, E. Tajahuerce. Three-dimensional object recognition by use of digital holography [J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**: 610~612
- 10 J. Esteve-Taboada, D. Mas, J. Garcia. Three-dimensional object recognition by Fourier transform profilometry[J]. *Appl. Opt.*, 1999, **38**: 4760~4765
- 11 J. Mei-hua, S. Xianyu, L. Yuankun. New method for 3D object recognition based on structure illumination [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2003, **14**(8): 869~872
- 姜美花, 苏显渝, 刘元坤. 基于结构照明的三维物体识别新方法[J]. *光电子·激光*, 2003, **14**(8): 869~872
- 12 Z. Banghe, L. Shutian, C. Lixue. Fractional profilometry correlator for three-dimensional object recognition [J]. *Appl. Opt.*, 2001, **40**: 6474~6478
- 13 S. Xianyu, S. Likun, L. Wangsong *et al.*. A new 3-D profilometry based on modulation measurement [C]. *SPIE*, 1998, **3558**: 1~7
- 14 Shao Shuangyun, Su Xiangyu, Wang Hua *et al.*. Calibration of the measurement system based on modulation measurement profilometry[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(2): 203~206
- 邵双运, 苏显渝, 王 华等. 调制度测量轮廓术的系统标定[J]. *光学学报*, 2005, **25**(2): 203~206
- 15 Shao Shuangyun, Su Xianyu, Zhang Qichan *et al.*. Application of modulation measurement profilometry in complex object shape measurement [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(12): 1623~1628
- 邵双运, 苏显渝, 张启灿等. 调制度测量轮廓术在复杂面形测量中的应用[J]. *光学学报*, 2004, **24**(12): 1623~1628
- 16 Dou Yunfu, Su Xianyu, Chen Yanfei. A fast modulation measurement profilometry [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(7): 1858~1862
- 窦蕴甫, 苏显渝, 陈延非. 一种快速的调制度测量轮廓术[J]. *光学学报*, 2009, **29**(7): 1858~1862

《光学学报》“发光材料”专题 征 稿 启 事

近年来,发光材料以其独特的优越性,已成为我国光学材料研究领域的的主流方向之一,被广泛应用在显示、通信、卫星、生物、光学计算机等高科技领域。发光材料作为一门发展十分迅速的新兴技术科学,所提出的新原理、新方法和新技术已取得多项重大研究成果。《光学学报》计划于2010年7月正刊(EI核心收录)上推出“发光材料”专题栏目,现特向国内外广大专家学者征集“发光材料”方面原创性的研究论文,旨在集中反映该方面最新的研究成果及研究进展。

征稿范围包括:

- 光致发光材料: 灯用材料、长余辉材料、紫外发光材料、红外线发光材料、荧光染料、颜料材料等;
- 电致发光材料: 高场发光材料(直流粉末 DCEL, 交流粉末 ACCEL, 薄膜发光, 厚膜发光, 有机发光)、低场发光材料(发光二极管(LED), 有机发光(OEL-OLED), 硅基发光, 半导体激光)等;
- 阴极射线发光材料: 彩色电视发光材料、黑白电视发光材料、像素管材料、低压荧光材料、超短余辉材料等;
- 辐射发光材料: α 射线发光材料、 β 射线发光材料、 γ 射线发光材料、氡放射发光材料、闪烁晶体材料、X 射线发光材料、X 射线存储发光材料、X 射线增感发光材料、CT 扫描发光材料等;
- 摩擦发光材料: 单晶发光材料、微晶发光材料等;
- 化学发光材料: 有机化合物发光材料(荧光染料)、液体发光材料、有机稀土发光材料等;
- 生物发光材料: 酶发光材料, 有机发光材料等;
- 反射发光(几何光学)材料: 光学镀膜反射材料、玻璃微珠反射材料等;
- 其他

特邀组稿专家: 郭太良 教授 福州大学

截稿日期: 2010年4月20日

投稿方式以及格式: 可通过中国光学期刊网网上投稿系统直接上传稿件(主题标明“发光材料”投稿), 详情请参见 <http://www.opticsjournal.net/gxxb.htm>。本专题投稿文体为中文, 其电子版请使用MS-word格式, 有任何问题请咨询马沂编辑, E-mail: CJL@siom.ac.cn; 电话: 021-69918427。