

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710052727.4

G01B 11/00 (2006.01)

G01B 11/03 (2006.01)

G01B 11/25 (2006.01)

G01C 11/08 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 10 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 100554869C

[22] 申请日 2007. 7. 11

[21] 申请号 200710052727. 4

[73] 专利权人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞瑜路
1037 号

[72] 发明人 周 钢 王从军 李中伟 杜俊贤

朱本璋 秦大辉 张贵姣

[56] 参考文献

JP2007 - 86428A 2007. 4. 5

US7091472B1 2006. 8. 15

CN1971205A 2007. 5. 30

US7049578B2 2006. 5. 23

审查员 舒 畅

[74] 专利代理机构 华中科技大学专利中心

代理人 曹葆青

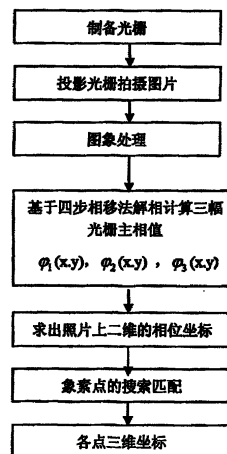
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 4 页

[54] 发明名称

一种基于彩色结构光的二维三频解相测量方法

[57] 摘要

一种基于彩色结构光的二维三频解相测量方法，步骤为：①制备三幅由二种频率相同的不同的三原色正弦光复合而成的光栅；②投影光栅到被测物体，利用二台相同 CCD 摄像机拍摄，获得 24 幅照片；③对拍摄的照片进行解相，得到各照片上各个像素点的 X 方向和 Y 方向上的相位值；④对两个相位值进行匹配，计算出各点的三维坐标。本发明克服了一唯方向上编码的缺陷和匹配精度不高的缺点，使得编码匹配更为有效和精确。避免了机械测量方法中因为接触变形所引起的测量误差，提高了测量精度；无需通过二维扫描来获取三维信息，提高了测量速度；可以同时记录物体的色彩信息，使反求工程从物体三维形状的获取进一步延伸到物体色彩的反求。



1、一种基于彩色结构光的二维三频解相测量方法，其步骤包括：

(1) 制备三幅光栅，光栅均由X方向上的正弦光和Y方向上的具有相同频率的正弦光复合而成，X、Y方向上的二种正弦光为不同的三原色，并且三幅光栅满足式 (I) 的要求

$$\lambda_{123} = \frac{\lambda_{12}\lambda_{23}}{\lambda_{12} - \lambda_{23}} = 1 \quad (\text{I})$$

λ_{12} 和 λ_{23} 分别为对 λ_1, λ_2 叠加和 λ_2, λ_3 叠加获得的更低频率的相位函数 $\Phi_{12}(x)$ 和 $\Phi_{23}(x)$ 所对应的频率， $\lambda_{123}(x)$ 为对 λ_{12} 和 λ_{23} 叠加获得更低频率函数 $\Phi_{123}(x)$ 所对应的频率，其中 λ_j 分别为三幅光栅的正弦波相位函数 $\Phi_1(x), \Phi_2(x), \Phi_3(x)$ 的频率，并互不相同， $j=1, 2, 3$ ；

(2) 投影一幅光栅到被测物体，在物体表面形成变形的的光栅条纹，利用二台相同CCD摄像机拍摄，二台CCD摄像机的夹角范围为0-180度，再将这幅光栅分别移动 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ ，并分别进行拍摄，获得四幅照片；对其它两幅光栅进行同样的操作，每个光栅分别获得四幅照片；

(3) 按照下述过程对一台 CCD 摄像机拍摄的 12 幅照片进行解相：

(3.1) 从照片中分离出二维方向上的单色光；

(3.2) 采用四步相移法获得照片上像素点的主相值：利用四步相移法将光栅在栅线的垂直方向上平移栅距的 $1/4$ ，则式 (1) 的光强表达式中相位将移动 $\pi/2$ ，等距离平移 3 次，获得 4 幅光栅投影图像，并计算每一幅光栅投影图像中每个象素的相对相位 $\varphi_1(x,y)$ 、 $\varphi_2(x,y)$ 和 $\varphi_3(x,y)$ ；

$$\varphi_j(x,y) = \text{tg}^{-1} \frac{I_{j4} - I_{j2}}{I_{j1} - I_{j3}} \quad -\pi < \varphi \leq \pi$$

其中， I_{ji} 为光强值， $i=1,2,3,4$ ， $j=1, 2, 3$ ；

(3.3) 对频率为 λ_1, λ_2 的两个光栅条纹图像相加，求解两种条纹的相位 Φ_1, Φ_2^1 ；对频率为 λ_2, λ_3 的两个光栅条纹图像相加，求解两种条纹的相位 Φ_2^2, Φ_3 ；

(3.4) 对 Φ_2^1, Φ_2^2 求平均值, 得到第二幅光栅条纹图的全场相位值 Φ_2 , 根据全场相位值 Φ_2 得到 X 方向上的相位灰度线;

(3.5) 对分离出来另一种单原色光, 重复步骤 (3.2) 至 (3.4), 得到 Y 方向上的相位灰度线;

(3.6) 根据被测物体拍摄图片在 X 方向和 Y 方向上的相位灰度线, 得到各个像素点的 X 方向和 Y 方向上的相位值 (u, v) ;

(4) 根据步骤 (3.1) 到 (3.6) 对另一台 CCD 摄像机拍摄的 12 幅照片进行解相, 得到各照片上各个像素点的 X 方向和 Y 方向上的相位值 (u', v') ;

(5) 对上述两个 CCD 所拍摄图像的像素点的相位值 (u, v) , (u', v') 进行匹配, 根据匹配点和 CCD 的内外参数, 计算出各点的三维坐标。

一种基于彩色结构光的二维三频解相测量方法

技术领域

本发明属于逆向工程测量领域，具体涉及一种基于彩色结构光的二维三频解相测量方法。

背景技术

双目式光栅投影结构光测量方法是目前比较先进的一种测量方法，它结合了结构光法和立体视觉法，投射光束通过光栅投影在物体表面形成结构光，被测物体的空间信息经过结构光编码成为条纹图形，这些变形条纹由与投影仪中心成一定角度的两台 CCD 摄像机记录，根据记录的一系列投影光栅对测量空间的每个空间点进行编码，经过译码和相位计算获得每个空间点的编码信息和相位信息，从而确定其空间位置，获得测量空间信息。在立体视觉匹配过程中，左右摄像机拍摄的对应照片上特征怎么能够清晰的、无二义性的对应，是解决问题的关键所在。其中编码方法和解相技术在结构光投影法的数据获取中起着至关重要的作用，影响着系统的测量精度、速度和可靠性。

在光栅投影测量中，常用的是采用Gray编码，它仅能对空间进行有限分割，每一条光栅对应一个离散值，测量空间点也仅能获得有限的空间编码值，因此在一个方向上会出现重复的编码值，单独采用Gray编码效率不高。有些采用一维的四步相移法，在投影光栅的相移方法中，记录图像中的每个象素可以得到一个相对相位 φ ，在相移的一个相对相位周期内它是唯一的，但是在整个测量空间中该值不唯一，这种方法得出的匹配结果精度不高，并且只是对一维方向上进行匹配。而对二维空间的匹配难以胜任。因此必须对空间点的相位值进行展开，即解相。即在传统的编码和一维解相方法中，在左右两幅照片中，特征点的对应关系还不能唯一确定，必须要借助其他约束，左右两幅照片特征点的对应关系才唯一确定。

发明内容

本发明的目的在于提供一种基于彩色结构光的二维三频解相测量方法，该方法效率高，精度高，并且易于对对二维空间的匹配。

本发明提供的基于彩色结构光的二维三频解相测量方法，其步骤包括：

(1) 制备三幅光栅，光栅均由X方向上的正弦光和Y方向上的具有相同频率的正弦光复合而成，X、Y方向上的二种正弦光为不同的三原色，并且三幅光栅满足式 (I) 的要求

$$\lambda_{123} = \frac{\lambda_{12}\lambda_{23}}{\lambda_{12} - \lambda_{23}} = 1 \quad (\text{I})$$

λ_{12} 和 λ_{23} 分别为对 λ_1, λ_2 叠加和 λ_2, λ_3 叠加获得的更低频率的相位函数 $\Phi_{12}(x)$ 和 $\Phi_{23}(x)$ 所对应的频率， $\lambda_{123}(x)$ 为对 λ_{12} 和 λ_{23} 叠加获得更低频率函数 $\Phi_{123}(x)$ 所对应的频率，其中 λ_j 分别为三幅光栅的正弦波相位函数 $\Phi_1(x), \Phi_2(x), \Phi_3(x)$ 的频率，并互不相同， $j=1, 2, 3$ ；

(2) 投影一幅光栅到被测物体，在物体表面形成变形的的光栅条纹，利用二台相同CCD摄像机拍摄，二台CCD摄像机的夹角范围为0-180度，再将这幅光栅分别移动 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ ，并分别进行拍摄，获得四幅照片；对其它两幅光栅进行同样的操作，每个光栅分别获得四幅照片；

(3) 按照下述过程对一台 CCD 摄像机拍摄的 12 幅照片进行解相：

(3.1) 从照片中分离出二维方向上的三原色光，从三原色光中分离出来一种单原色光；

(3.2) 采用四步相移法获得照片上像素点的主相值，再利用四步相移法将光栅在栅线的垂直方向上平移栅距的 1/4，则式 (1) 的光强表达式中相位将移动 $\pi/2$ ，等距离平移 3 次，获得 4 幅光栅投影图像，并计算每一幅光栅投影图像中每个象素的相对相位 $\varphi_1(x,y)$ 、 $\varphi_2(x,y)$ 和 $\varphi_3(x,y)$ ；

$$\varphi_j(x,y) = \text{tg}^{-1} \frac{I_{j4} - I_{j2}}{I_{j1} - I_{j3}} \quad -\pi < \varphi \leq \pi$$

其中， I_{ji} 为光强值， $i=1,2,3,4$ ， $j=1, 2, 3$ ；

(3.3) 对频率为 λ_1, λ_2 的两个光栅条纹图像相加, 求解两种条纹的相位 Φ_1, Φ_2^1 ; 对频率为 λ_2, λ_3 的两个光栅条纹图像相加, 求解两种条纹的相位 Φ_2^2, Φ_3 ;

(3.4) 对 Φ_2^1, Φ_2^2 求平均值, 得到第二幅光栅条纹图的全场相位值 Φ_2 , 根据全场相位值 Φ_2 得到 X 方向上的相位灰度线;

(3.5) 对分离出来另一种单原色光, 重复步骤 (3.2) 至 (3.4), 得到 Y 方向上的相位灰度线;

(3.6) 根据被测物体拍摄图片在 X 方向和 Y 方向上的相位灰度线, 得到各个像素点的 X 方向和 Y 方向上的相位值 (u, v) ;

(4) 根据步骤 (3.1) 到 (3.6) 对另一台 CCD 摄像机拍摄的 12 幅照片进行解相, 得到各照片上各个像素点的 X 方向和 Y 方向上的相位值 (u', v') ;

(5) 对上述两个 CCD 所拍摄图像的像素点的相位值 (u, v) , (u', v') 进行匹配, 根据匹配点和 CCD 的内外参数, 计算出各点的三维坐标。

本发明采用采用双目立体视觉和相位移法结合的方法进行二维方向上的编码。克服了一唯方向上编码的缺陷和匹配精度不高的缺点, 使得编码匹配更为有效和精确。而且该测量方法基于彩色结构光的二维三频解相, 避免了机械测量方法中因为接触变形所引起的测量误差, 提高了测量精度; 同时与其他方法比较, 无需通过二维扫描来获取三维信息, 提高了测量速度。可以同时记录物体的色彩信息, 弥补了以前的只能获取物体的形貌而不能获取物体的色彩的缺陷, 使反求工程从物体三维形状的获取进一步延伸到物体色彩的反求。

附图说明

图1为本发明方法的流程示意图;

图2本发明所用的编码图案;

图3为分离出来的红色光和绿色光图案;

图4为四步相移法原理图；

图5为基于四步相移法的三频解相原理图；

图6为在u方向上的相位简图；

图7为在v方向上的相位简图。

图8为三维测量的原理图。

具体实施方式：

投射经过调制的彩色光正弦光场在物体表面形成结构光，就是在投影的X，Y方向上，都有三幅频率不同的光栅进行投影。投影出彩色的面结构光，它是由绿光和红光复合而成的（这个是可以变动的，只要是三种基本色的一两种即可），其中，红光在X方向上光强呈正弦分布，绿光在Y方向上光强呈正弦分布。由左右摄像机记录下来，利用图象处理分离出两个二维方向上的图象，对获得的照片进行解码，结合相位移方法来实现对空间坐标点的信息的准确匹配。然后根据匹配结果利用标定出的摄像机内外参数求取空间点的三维坐标。该技术保证了解相的准确性，而且不依赖于极限约束，保证了算法的稳定。

下面根据附图和实例对本发明作进一步详细的说明。

如图1所示，本发明方法包括以下步骤：

（1）制备三幅光栅

光栅要求：由X方向上的红色正弦光和Y方向上的具有相同频率的绿色正弦光复合而成，（这个是可以变动的，只要是三种基本色的两种即可），共制备三幅光栅，编码图案光栅如图2所示。

这三幅光栅正弦波相位设为 $\Phi_1(x), \Phi_2(x), \Phi_3(x)$ ；其中 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 分别为相位函数 $\Phi_1(x), \Phi_2(x), \Phi_3(x)$ 的不同的频率。对 λ_1, λ_2 和 λ_2, λ_3 分别运用外差技术分别获得更低频率的相位函数 $\Phi_{12}(x)$ 和 $\Phi_{23}(x)$ ，再运用外差技术获得更低频率函数 $\Phi_{123}(x)$ 使得 $\lambda_{123}(x)=1$ 。 $\Phi_{123}(x)$ 的频率 λ_{123} 经过计算可表示为：

$$\lambda_{123} = \frac{\lambda_{12}\lambda_{23}}{\lambda_{12} - \lambda_{23}}$$

必须选择合适的 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 值，使得 $\lambda_{123}=1$ 。

(2) 投影光栅及拍摄图片

通过投影仪投影第一幅光栅到被测物体，在物体表面形成变形的的光栅条纹。

(2. 1) 这些变形条纹由与投影仪中心成一定角度的两台 CCD 摄像机记录。每个 CCD 记录一幅图片。

(2. 2) 将这幅光栅移动 $\pi/2$ ，透射到被测物体表面，CCD 相机再拍摄一次；

(2. 3) 把光栅依次移动到 $\pi/2$ ，共移动 3 次，每次移动 CCD 相机都要拍摄一次。

(2. 4) 按照上面的方法依次投影三幅光栅到物体表面，每投影一次，CCD 要拍摄一次。这样每个 CCD 拍摄了 12 幅照片，照片信息存储到电脑中。

(3). 解相

由上步得到的 12 幅图片进行解码，就是在投影的 X, Y 方向上，都有三幅频率不同的光栅进行投影。我们投影出彩色的面结构光，它是由绿光和红光复合而成的。其具体过程为：

(3. 1) 从彩色光中分离出二维方向上的红、绿光，如图 3 所示。

先分离出红光，把绿色信息附值为 0，这样就可以把红光分离出来。以同样的方法把绿光分离出来。这里我们要结合四步相移法来进行解码，然后分别在红光和绿光的图像上利用一维三频解相技术分别进行解相计算。

(3. 2) 对第一步分离出来的红色光图像分析，采用四步相移法获得像素点的主相值。四步相移法将光栅在栅线的垂直方向上平移栅距的 $1/4$ ，如图 4 所示，则式 (1) 的光强表达式中相位将移动 $\pi/2$ ，等距离平移 3 次，获得 4 幅图像，其第 i 幅图像的光强函数为：

$$I_i(x, y) = k\{a(x, y) + b(x, y) \cos[\varphi(x, y) + 2(i-1)\pi / N]\} \quad (2)$$

当 $N=4$ 时，获得的各步光强函数为：

$$I_1 = k\{a(x, y) + b(x, y) \cos[\varphi(x, y)]\} \quad (3)$$

$$I_2 = k\{a(x, y) - b(x, y) \sin[\varphi(x, y)]\} \quad (4)$$

$$I_3 = k\{a(x, y) - b(x, y) \cos[\varphi(x, y)]\} \quad (5)$$

$$I_4 = k\{a(x, y) + b(x, y) \sin[\varphi(x, y)]\} \quad (6)$$

由式 (3) 至 (6) 可得:

$$I_4(x, y) - I_2(x, y) = 2kb(x, y) \sin[\varphi(x, y)] \quad (7)$$

$$I_1(x, y) - I_3(x, y) = 2kb(x, y) \cos[\varphi(x, y)] \quad (8)$$

$$\varphi(x, y) = \operatorname{tg}^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \quad -\pi < \varphi \leq \pi \quad (9)$$

其中 $I_i (i=1, 2, 3, 4)$ 为光强值。

这样我们便得到了第一幅光栅投影图像中每个象素的相对相位 $\varphi_1(x, y)$ 。

(3) 对频率2的光栅图像和频率3的光栅图像利用四步相移法计算它们的主相值, 得到 $\varphi_2(x, y)$ 和 $\varphi_3(x, y)$ 。

(4) 根据上步得出的三个频率的主相值利用三频解相完成相位的展开, 其原理如图 5 所示, 其具体过程为:

(4. 1) 一、二两种频率的光栅条纹图像相加, 求解两种条纹的相位 Φ_1, Φ_2^1 。

(4. 2) 二、三两种频率的光栅条纹图像相加, 求解两种条纹的相位 Φ_2^2, Φ_3 。

(4. 3) Φ_2^1, Φ_2^2 求平均值得到第二幅光栅条纹图的全场相位值 Φ_2 。

(4. 4) 根据全场相位值 Φ_2 得到 u 方向上的相位灰度线, 如图 6 所示。

(4. 5) 按照 (4. 2)、(4. 3)、(4. 4) 的步骤和方法再对分离出的绿色光进行解相计算, 得到 v 方向上的相位灰度线, 如图 7 所示。

(4. 6) 由以上步骤得到了被测物体拍摄图片上各个像素点的 X 方向和 Y 方向上的相位值, 即每个像素点的二维坐标相位值 (u, v)。

(4. 7) 根据 (4. 1) 到 (4. 6) 的步骤次序对第二个 CCD 拍摄的照片进行处理分析, 得到第二个 CCD 所拍摄图像的各个像素点的 X 方向和 Y 方向上的相位值, (u', v')。

(5) 象素点的搜索匹配

由上步得出的两个 CCD 所拍摄图像的像素点的相位坐标 (u, v), (u',

v') 进行匹配。当两个像素点的坐标相等或非常相近, 则可以认为是同一物体上的点在不同 CCD 下所对应的像点。其具体过程为:

(5. 1) 在第一幅照片上, 每个像点都有一个二维的编码值与其相对应, 通过这个二进制数转换成十进制数, 则得到这个区域上唯一的一个坐标 (u, v) 。

(5. 2) 在另外一个照相机所成的图象上找到和它具有同样坐标的区域, 找到与其匹配的特征点 (u', v') , 这样空间物体在两个相机上的像点都可以找出来。

对数字图像 $\{f(i, j)\}$ 的每一个像素 (i, j) 的坐标 (u, v) , 分别考察另一图像上的相位坐标 (u', v') , 取这些像素与像素间的灰度差的最小值作为特征点算子值 $G(i, j)$ 。其中 $G(i, j)$ 为:

$$G(i, j) = \min\{|f(i+k, j) - f(i, j)|, k = \pm 3, 4, \dots, n\}$$
取极限值 THg , 作如下判断: 若 $G(i, j) \geq THg$, 则 (i, j) 为特征点, $\{G(i, j)\}$ 为特征点图像。则可以匹配出点。根据匹配点和 CCD 的内外参数计算出各点的三维坐标。如图8所示。

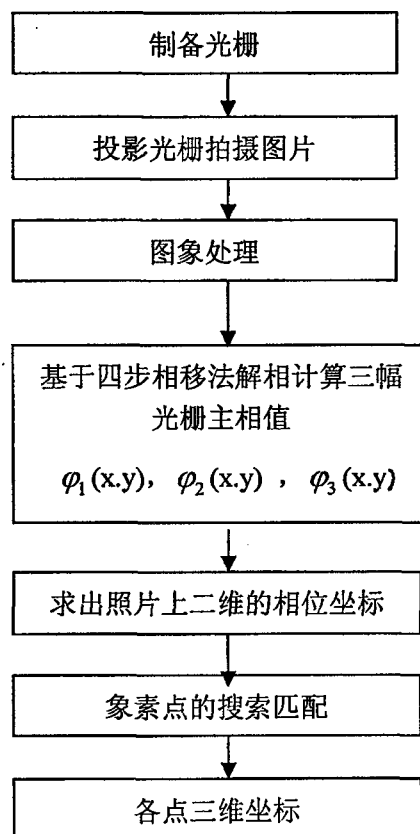


图 1

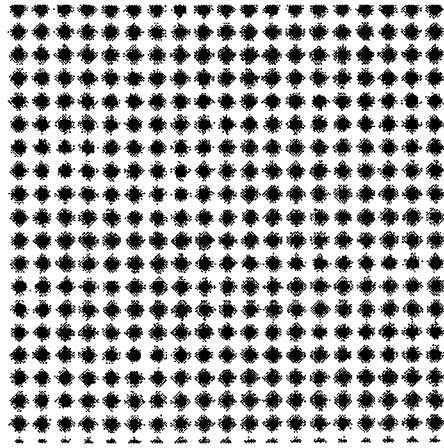


图 2

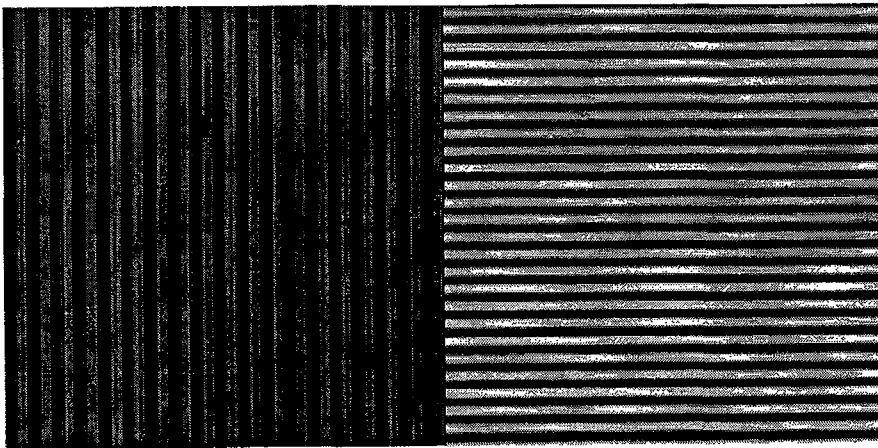


图 3

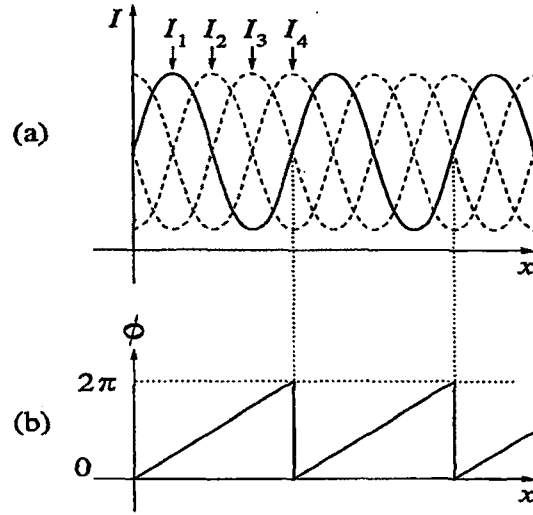


图 4

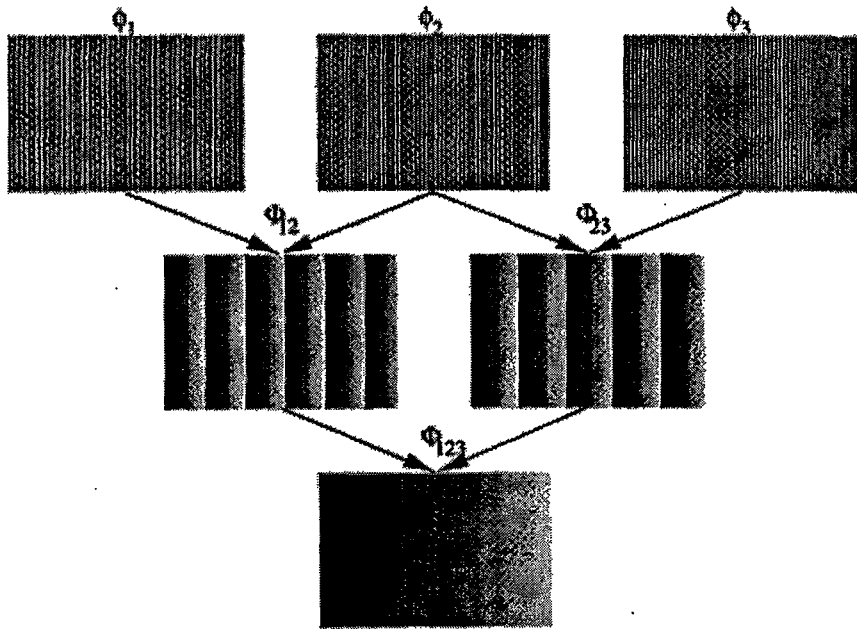


图 5

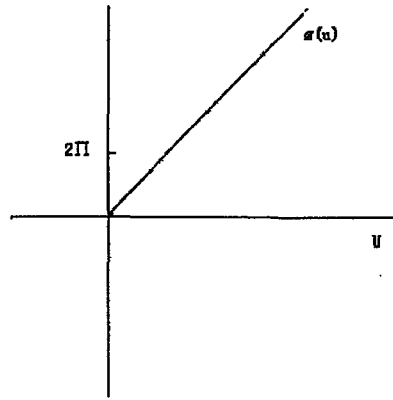


图 6

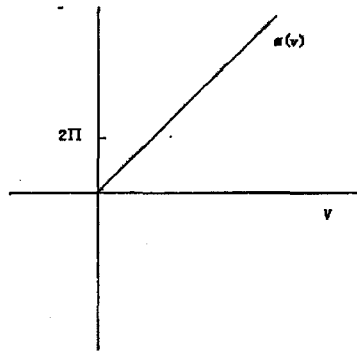


图 7

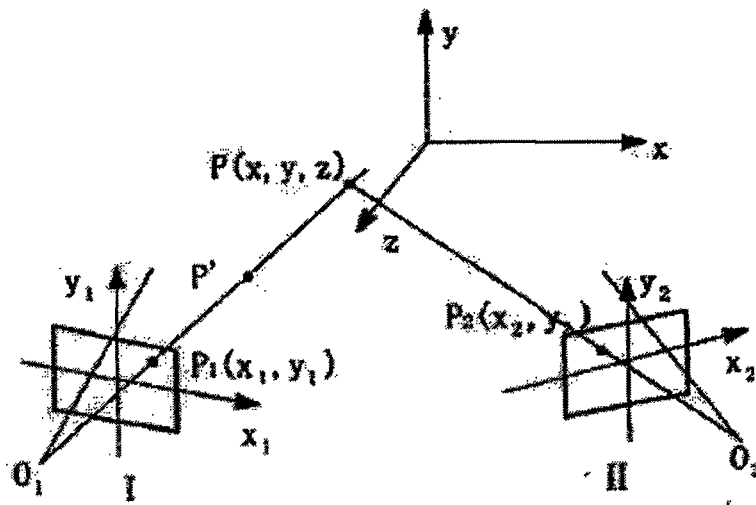


图 8