



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109727267 B

(45)授权公告日 2020.02.11

(21)申请号 201811631403.0

(22)申请日 2018.12.29

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109727267 A

(43)申请公布日 2019.05.07

(73)专利权人 中国计量科学研究院  
地址 100013 北京市朝阳区北三环东路18号

(72)发明人 蔡晨光 张颖 刘志华

(74)专利代理机构 北京思海天达知识产权代理有限公司 11203

代理人 沈波

(51)Int.Cl.

G06T 7/20(2017.01)

G06T 7/13(2017.01)

(56)对比文件

CN 106153331 A,2016.11.23,

CN 103267567 A,2013.08.28,

CN 104048744 A,2014.09.17,

审查员 李宇文

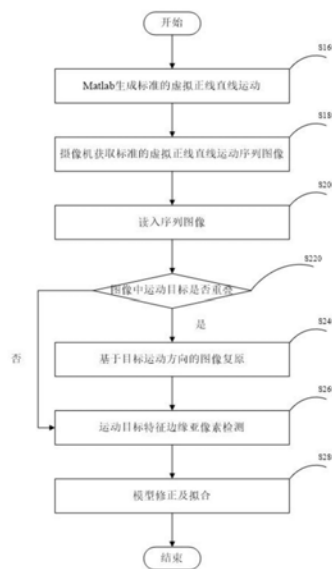
权利要求书3页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法,包括计算图像的灰度梯度幅值,利用灰度梯度幅值的分布寻找区间内的幅值极大值,根据极大值的个数判断图像中的感兴趣区域是否存在不同运动位置目标的叠加;针对感兴趣区域的不同叠加情形,以提高后续图像处理的精度;使用一种亚像素边缘检测方法实现运动目标特征边缘的提取;引入目标振动模型,利用最小二乘法进行模型拟合;最后对目标振动模型进行位移误差补偿,获得虚拟正弦直线振动的时间-位移测量曲线。本发明可避免因机械制造、运动控制等因素导致的振动台非理想正弦振动情形,通过Matlab编程输出标准的虚拟正弦直线振动,为基于机器视觉的平面运动测量提供了一种虚拟溯源途径。



1. 一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1: 计算图像的灰度梯度幅值,利用灰度梯度幅值的分布寻找区域内的峰值,根据峰值个数判断图像感兴趣区域内是否存在运动目标叠加;

S2: 针对区域存在运动目标叠加的图像,利用光流梯度法判断运动目标的运动方向,采用不同的图像复原方法复原图像,以提高后续图像处理的精度;

S3: 利用亚像素边缘检测方法完成运动目标特征边缘的提取;

S4: 引入目标振动模型,使用最小二乘法进行模型拟合;

S5: 对目标振动模型进行位移误差补偿,得到虚拟正弦直线振动的时间-位移测量曲线。

2. 根据权利要求1所述的一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法,其特征在于:

所述步骤S1具体包括:

(1) 运动目标感兴趣区域的确定

使用帧间差分法,确定运动目标的运动区域;为了降低噪声的影响,对获得的运动区域进行连通域分析;计算每个连通域的面积,将面积最大的两个区域作为运动目标的感兴趣区域;

(2) 运动目标叠加区域的判断

在运动目标的感兴趣区域,计算灰度梯度幅值:

$$\nabla f(x, y) = [I_x, I_y]^T = \left[ \frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T \quad (1)$$

$$\text{mag}(\nabla f) = \sqrt{\left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2}$$

其中,  $f(x, y)$  为像素  $(x, y)$  处的灰度值;  $I_x$  和  $I_y$  分别为  $x$  方向和  $y$  方向上的灰度梯度;  $\nabla f(x, y)$  为像素  $(x, y)$  处的梯度矢量;  $\text{mag}(\nabla f)$  为梯度矢量对应的幅值;当区域无运动目标叠加时,遍历区域的梯度幅值,只存在两个局部极大值点;当区域存在运动目标叠加时,局部极大值点数量大于两个。

3. 根据权利要求1所述的一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法,其特征在于:

所述步骤S2具体包括:

(1) 目标运动方向的确定

利用光流梯度法计算运动目标的感兴趣区域光流,该算法假定相邻两帧图像对应像素的亮度恒定,计算公式如下:

$$I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (2)$$

其中,  $I_t$  为图像在  $t$  时刻的灰度梯度;利用  $x$  方向上的光流  $u$  和  $y$  方向上的光流  $v$  判断目标运动方向;

(2) 图像复原方法

针对背景与运动目标灰度对比强烈的图像,其中运动目标为实心矩形;假定运动目标特征边缘始终为其右边缘,且当相邻帧图像运动目标特征边缘的  $x$  坐标呈增大趋势时认为目标运动方向为正方向;对目标特征边缘领域进行灰度区域划分;针对运动方向为正方向的感兴趣区域实行最右区域灰度增强,其余区域灰度减弱;针对运动方向为负方向的感兴

趣区域实行最左区域灰度增强,其余区域灰度减弱。

4. 根据权利要求1所述的一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法,其特征在于:  
所述步骤S3具体包括:

亚像素边缘检测通过Zernike矩法实现,图像 $f(x,y)$ 的 $n$ 阶 $m$ 次Zernike矩定义为:

$$A_{nm} = \frac{n+1}{\pi(N-1)^2} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N f(x,y) V_{nm}^*(\rho, \theta) \quad (3)$$

$$A'_{nm} = A_{nm} e^{-jm\phi}$$

其中,  $V_{nm}^*(\rho, \theta)$ 是在极坐标系下的单位圆内的正交 $n$ 阶 $m$ 次Zernike多项式;\*表示复共轭; $A'_{nm}$ 为图像旋转 $\phi$ 角度后的 $n$ 阶 $m$ 次Zernike矩;

通过3个不同阶次的Zernike矩实现亚像素边缘检测,分别为 $A_{00}$ 、 $A_{11}$ 、 $A_{20}$ ,其对应的积分核函数为:

$$V_{00} = 1$$

$$V_{11} = x + jy \quad (4)$$

$$V_{20} = 2x^2 + 2y^2 - 1$$

根据公式(3)、(4)得:

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}[A_{11}]}{\text{Re}[A_{11}]} \right) \quad (5)$$

$$l = \frac{A_{20}}{A'_{11}}$$

图像运动目标特征边缘的亚像素位置为:

$$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + l \begin{bmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi \end{bmatrix} \quad (6)$$

5. 根据权利要求1所述的一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法,其特征在于:  
所述步骤S4具体包括:

引入目标振动模型:

$$s = a \sin(\omega t + \varphi) + d \quad (7)$$

利用最小二乘法进行模型拟合。

6. 根据权利要求1所述的一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法,其特征在于:  
所述步骤S5具体包括:

图像尺寸以像素为单位,故相机获取的虚拟正弦直线振动序列图像存在量化误差;显示器输出位置 $s_d(t_i)$ 与真实位置 $s(t_i)$ 满足如下公式:

$$s_d(t_i) = s(t_i) + \Delta s(t_i) \quad (8)$$

为了提高测量精度,需要对目标振动模型进行位移误差补偿,公式如下:

$$\Delta s_c(t_j) = \text{int}[s_{p-p} \sin(\omega_v(N_T t_j) - \pi/2)] - s_{p-p} \sin(\omega_v(N_T t_j) - \pi/2) \quad (9)$$

其中,  $s_{p-p} \sin(\omega_v(N_T t_j) - \pi/2)$ 表示为:振动模型在 $t_j$ 时刻对应的位移值;

根据公式(8)、(9)可得任意位置 $s_d(t_i)$ 的修正值:

$$s'_d(t_i) = s_d(t_i) - \Delta s_c(t_j) \quad (10)$$

对目标振动模型修正后,获得虚拟正弦直线振动关于时间-位移的测量曲线。

## 一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于图像处理与机器视觉检测领域,尤其涉及一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法。

### 背景技术

[0002] 振动传感器及测量仪被广泛用于多个领域的实时监控与振动参数测量,如桥梁建筑、地震、汽车、航空航天等。为了保证振动传感器及测量仪所得测量结果的可靠性与准确性,需要定期对振动传感器及测量仪进行校准。

[0003] 典型的振动传感器及测量仪校准方法有激光干涉绝对法校准、比较法校准等。这些校准法使用不同的测量方法获得振动台的振动曲线图,通过比较这些测量结果来实现振动传感器的校准。而因振动台存在机械加工、运动控制等误差影响,振动台的振动形式并非标准的正弦直线振动,导致现有校准方法存在较大误差。

[0004] 本发明方法通过Matlab编程产生标准的虚拟正弦直线振动,通过机器视觉实现对标准的虚拟正弦直线振动的测量,避免了振动台引入的误差,进一步提高了振动测量精度。除此之外,本发明方法为平面振动测量方法提供了一种虚拟溯源途径。

### 发明内容

[0005] 为了避免因机械加工、运动控制等外界因素引入的误差,使得振动台的振动形式为非标准正弦直线振动,导致振动测量精度不高,本发明提出一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法,包括:

[0006] 图像有无目标叠加区域的判断:用于判断读取的序列图像中是否存在目标叠加区域,包括:图像中运动目标的感兴趣区域选择,感兴趣区域有无目标叠加区域的判断;

[0007] 图像复原方法的选择:用于提高后续图像处理的精度,包括:目标运动方向的判断,基于运动方向的图像复原方法的选择;

[0008] 运动目标特征边缘的高精度检测:用于提取运动目标特征边缘的亚像素检测,以提高特征边缘精度,保证运动测量结果的可靠性;

[0009] 目标振动模型的拟合:引入目标振动模型,使用最小二乘法进行模型拟合;

[0010] 目标振动模型的修正:对拟合得到的振动模型进行位移误差补偿,得到虚拟正弦直线振动测量关于位移-时间的最佳曲线。

[0011] 一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法,包括以下步骤:

[0012] S1:计算图像的灰度梯度幅值,利用灰度梯度幅值的分布寻找区域内的峰值,根据峰值个数判断图像感兴趣区域内是否存在运动目标叠加;

[0013] S2:针对区域存在运动目标叠加的图像,利用光流梯度法判断运动目标的运动方向,采用不同的图像复原方法复原图像,以提高后续图像处理的精度;

[0014] S3:利用亚像素边缘检测方法完成运动目标特征边缘的提取;

[0015] S4:引入目标振动模型,使用最小二乘法进行模型拟合;

[0016] S5:对目标振动模型进行位移误差补偿,得到虚拟正弦直线振动的时-位移测量曲线。

[0017] 所述步骤S1具体包括:

[0018] (1)运动目标感兴趣区域的确定

[0019] 使用帧间差分法,确定运动目标的运动区域;为了降低噪声的影响,对获得的运动区域进行连通域分析;计算每个连通域的面积,将面积最大的两个区域作为运动目标的感兴趣区域;

[0020] (2)运动目标叠加区域的判断

[0021] 在运动目标的感兴趣区域,计算灰度梯度幅值:

$$\nabla f(x,y) = [I_x, I_y]^T = \left[ \frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T \quad (1)$$

$$\text{mag}(\nabla f) = \sqrt{\left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2}$$

[0023] 其中, $f(x,y)$ 为像素 $(x,y)$ 处的灰度值; $I_x$ 和 $I_y$ 分别为 $x$ 方向和 $y$ 方向上的灰度梯度; $\nabla f(x,y)$ 为像素 $(x,y)$ 处的梯度矢量; $\text{mag}(\nabla f)$ 为梯度矢量对应的幅值;当区域无运动目标叠加时,遍历区域的梯度幅值,只存在两个局部极大值点;当区域存在运动目标叠加时,局部极大值点数量大于两个。

[0024] 所述步骤S2具体包括:

[0025] (1)目标运动方向的确定

[0026] 利用光流梯度法计算运动目标的感兴趣区域光流,该算法假定相邻两帧图像对应像素的亮度恒定,计算公式如下:

$$I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (2)$$

[0028] 其中, $I_t$ 为图像在 $t$ 时刻的灰度梯度;利用 $x$ 方向上的光流 $u$ 和 $y$ 方向上的光流 $v$ 判断目标运动方向;

[0029] (2)图像复原方法

[0030] 针对背景与运动目标灰度对比强烈的图像,其中运动目标为实心矩形;假定运动目标特征边缘始终为其右边缘,且当相邻帧图像运动目标特征边缘的 $x$ 坐标呈增大趋势时认为目标运动方向为正方向;对目标特征边缘领域进行灰度区域划分;针对运动方向为正方向的感兴趣区域实行最右区域灰度增强,其余区域灰度减弱;针对运动方向为负方向的感兴趣区域实行最左区域灰度增强,其余区域灰度减弱。

[0031] 所述步骤S3具体包括:

[0032] 亚像素边缘检测通过Zernike矩法实现,图像 $f(x,y)$ 的 $n$ 阶 $m$ 次Zernike矩定义为:

$$A_{nm} = \frac{n+1}{\pi(N-1)^2} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N f(x,y) V_{nm}^*(\rho, \theta) \quad (3)$$

$$A'_{nm} = A_{nm} e^{-jm\phi}$$

[0034] 其中, $V_{nm}^*(\rho, \theta)$ 是在极坐标系下的单位圆内的正交 $n$ 阶 $m$ 次Zernike多项式;\*表示复共轭; $A'_{nm}$ 为图像旋转 $\phi$ 角度后的 $n$ 阶 $m$ 次Zernike矩;

[0035] 通过3个不同阶次的Zernike矩实现亚像素边缘检测,分别为 $A_{00}$ 、 $A_{11}$ 、 $A_{20}$ ,其对应的积分核函数为:

$$V_{00} = 1$$

$$[0036] \quad V_{11} = x + jy \quad (4)$$

$$V_{20} = 2x^2 + 2y^2 - 1$$

[0037] 根据公式(3)、(4)得:

$$[0038] \quad \phi = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}[A_{11}]}{\text{Re}[A_{11}]} \right) \quad (5)$$

$$l = \frac{A_{20}}{A_{11}}$$

[0039] 图像运动目标特征边缘的亚像素位置为:

$$[0040] \quad \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + l \begin{bmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0041] 所述步骤S4具体包括:

[0042] 引入目标振动模型:

$$[0043] \quad s = a \sin(\omega t + \varphi) + d \quad (7)$$

[0044] 利用最小二乘法进行模型拟合。

[0045] 所述步骤S5具体包括:

[0046] 图像尺寸以像素为单位,故相机获取的虚拟正弦直线振动序列图像存在量化误差;显示器输出位置 $s_d(t_i)$ 与真实位置 $s(t_i)$ 满足如下公式:

$$[0047] \quad s_d(t_i) = s(t_i) + \Delta s(t_i) \quad (8)$$

[0048] 为了提高测量精度,需要对目标振动模型进行位移误差补偿,公式如下:

$$[0049] \quad \Delta s_c(t_j) = \text{int}[s_{p-p} \sin(\omega_v(N_T t_j) - \pi/2)] - s_{p-p} \sin(\omega_v(N_T t_j) - \pi/2) \quad (9)$$

[0050] 其中, $s_{p-p} \sin(\omega_v(N_T t_j) - \pi/2)$ 表示为:振动模型在 $t_j$ 时刻对应的位移值;

[0051] 根据公式(8)、(9)可得任意位置 $s_d(t_i)$ 的修正值:

$$[0052] \quad s'_d(t_i) = s_d(t_i) - \Delta s_c(t_j) \quad (10)$$

[0053] 对目标振动模型修正后,获得虚拟正弦直线振动关于时间-位移的测量曲线。

[0054] 本发明虚拟正弦直线振动测量方法具有如下优势:

[0055] (1) 本发明通过图像复原和模型修正方法提高了振动测量精度。

[0056] (2) 本发明采用标准的虚拟正弦直线振动,可避免振动台引入的误差。

[0057] (3) 本发明方法为平面振动测量方法提供了一种虚拟溯源途径。

## 附图说明

[0058] 图1为本发明方法装置示意图;

[0059] 图2为一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法流程图;

[0060] 图3为判断图像有无目标叠加区域的流程图;

[0061] 图4为基于目标运动方向的图像复原方法选取流程图;

- [0062] 图5为不同运动方向、不同灰度分布下的运动目标特征边缘位置示意图；
- [0063] 图6为摄像机采集的标准虚拟正弦直线振动序列图像；
- [0064] 图7为本发明方法测量标准虚拟正弦直线振动得到的时间-位移结果图(频率为1Hz)；
- [0065] 图8-11为本发明方法测量不同频率下的标准虚拟正弦直线振动得到的位移、相位的均值绝对值柱状图和均方差柱状图。

### 具体实施方式

[0066] 为了避免振动台引入的误差,本发明提供了一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法,本发明方法对于平面运动的测量具有较高的精度,下面结合附图和具体的实施实例对本发明做出详细描述。

[0067] 参考图1为本发明方法的装置示意图,该装置主要包括:光源1、摄像机2、处理及显示设备3。光源1为摄像机2提供照明;摄像机2用于采集标准的虚拟正弦直线振动的序列图像;处理及显示设备3用于呈现Matlab生成的标准虚拟正弦直线振动以及实现序列图像的处理。

[0068] 参考图2为一种标准的虚拟正弦直线振动测量方法流程图。本发明虚拟正弦直线振动测量方法主要包括以下步骤:

[0069] 步骤S160:通过Matlab编程生成标准的虚拟正弦直线振动;

[0070] 步骤S180:通过摄像机获取标准的虚拟正弦直线振动序列图像;

[0071] 步骤S200:读入虚拟正弦直线振动序列图像;

[0072] 步骤S220:图像有无目标叠加区域的判断,其包括:图像中运动目标的感兴趣区域检测,感兴趣区域有无目标叠加区域的判断;

[0073] 步骤S240:图像复原方法的选择,其包括:运动目标运动方向的判断,基于运动方向的图像复原方法的选择;

[0074] 步骤S260:序列图像运动目标特征边缘的亚像素边缘检测;

[0075] 步骤S280:目标振动模型拟合及修正,其包括:最小二乘法拟合目标振动模型,振动模型的位移误差补偿。

[0076] 参考图3为判断感兴趣区域有无目标叠加区域的流程图。本发明感兴趣区域有无目标叠加区域的判断包括如下步骤:

[0077] 步骤S221:使用帧间差分法获得目标的运动区域;

[0078] 步骤S221:对运动区域进行连通域分析,确定运动目标的感兴趣区域;

[0079] 步骤S223:在感兴趣区域内,对图像进行梯度幅值计算;

[0080] 步骤S224:寻找梯度幅值的局部极大值;

[0081] 步骤S225:判断局部极大值个数。当局部极大值个数大于2时,认为感兴趣区域存在目标叠加区域;反之则认为感兴趣区域不存在目标叠加区域。

[0082] 参考图4为基于目标运动方向的图像复原方法选取流程图。本发明基于目标运动方向的图像复原方法选取包括如下步骤:

[0083] 步骤S241:使用光流法,确定图像中的目标运动方向:当运动方向为正时,跳至步骤S242;当运动方向为负时,跳至步骤S246;

[0084] 步骤S242:对图像中目标叠加区域的灰度分布进行判断:当灰度分布为三灰度分段时,跳至步骤S243;当灰度分布为四灰度分段时,跳至步骤S245;

[0085] 步骤S243:对三灰度分段区域内的区域面积大小进行判断:当左边区域面积小于右边区域面积时,跳至步骤S244;反之则跳至步骤S245;

[0086] 步骤S244:将右边区域面积与左边区域面积进行互换,使得在三灰度分段区域内,左边区域面积始终大于右边灰度面积;

[0087] 步骤S245:对右边区域灰度进行增强,其余区域灰度减弱;

[0088] 步骤S246:对图像中目标叠加区域的灰度分布进行判断:当灰度分布为三灰度分段时,跳至步骤S247;当灰度分布为四灰度分段时,跳至步骤S249;

[0089] 步骤S247:对三灰度分段区域内的区域面积大小进行判断:当左边区域面积大于右边区域面积时,跳至步骤S248;反之则跳至步骤S249;

[0090] 步骤S248:将右边区域面积与左边区域面积进行互换,使得在三灰度分段区域内,右边区域面积始终大于左边灰度面积;

[0091] 步骤S249:对左边区域灰度进行增强,其余区域灰度减弱。

[0092] 参考图5为本发明方法摄像机采集的标准虚拟正弦直线振动序列图像。本发明方法装置的具体参数为:分辨率为1292x964、帧率为30fps的德国AVTManta G-125B工业摄像机,镜头焦距为8mm;光源选用60W白炽灯。

[0093] 参考图6为本发明方法测量标准虚拟正弦直线振动得到的时间-位移曲线(频率为1Hz)。从时间-位移曲线中可以看出,本发明对标准虚拟正弦直线振动序列图像的运动目标特征边缘检测精度较高,与最小二乘法拟合得到的目标振动模型之间的误差很小。

[0094] 参考图7-10为本发明方法测量不同频率下的标准虚拟正弦直线振动得到的位移、相位的均值绝对值柱状图和均方差柱状图。从柱状图中可以看出,本发明对不同频率的标准虚拟正弦直线振动的测量精度较高。

[0095] 上述描述为本发明流程的详细介绍,其并非用以对本发明作任何形式上的限定。本领域相关技术人员可以在本发明的基础上可做出一系列的改进、优化与修改等。因此本发明的保护范围应由所附权利要求来限定。

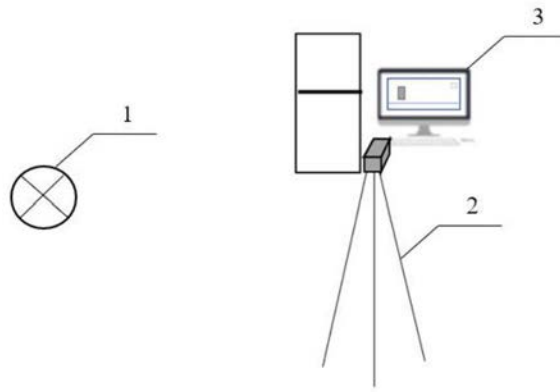


图1

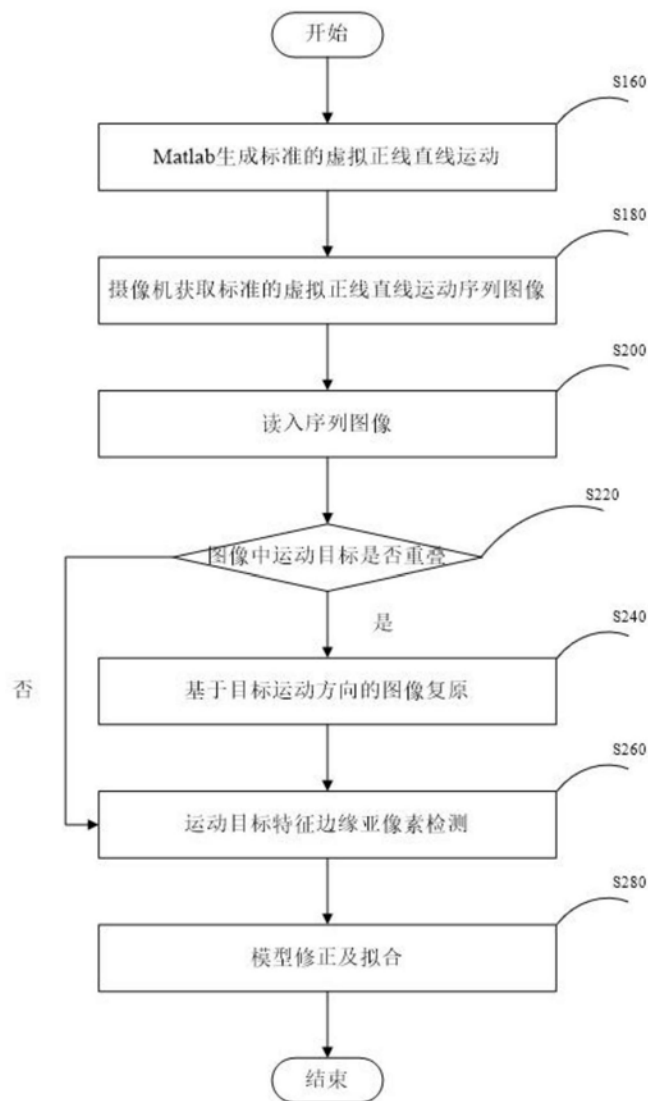


图2

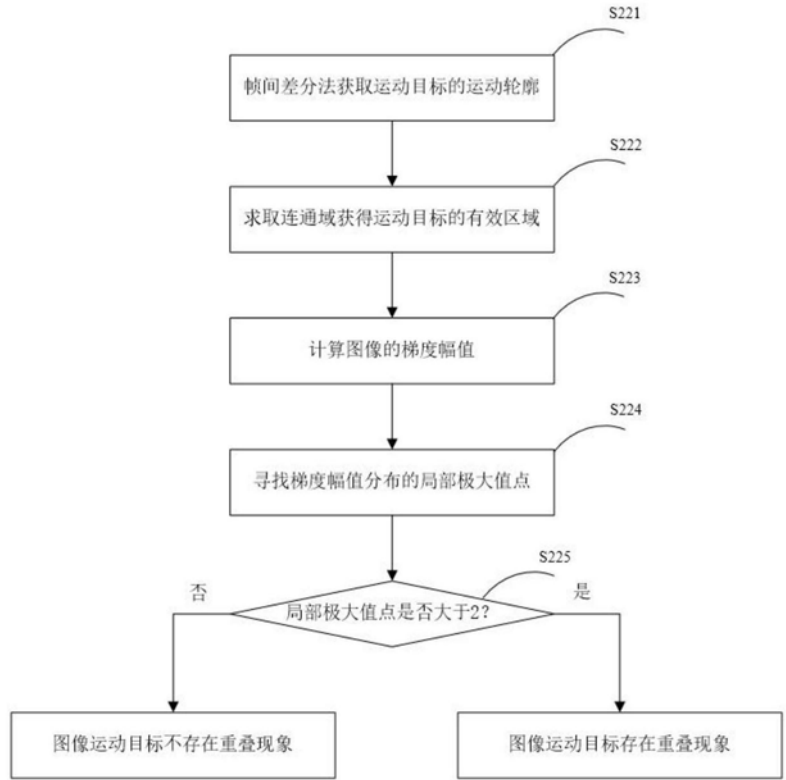


图3

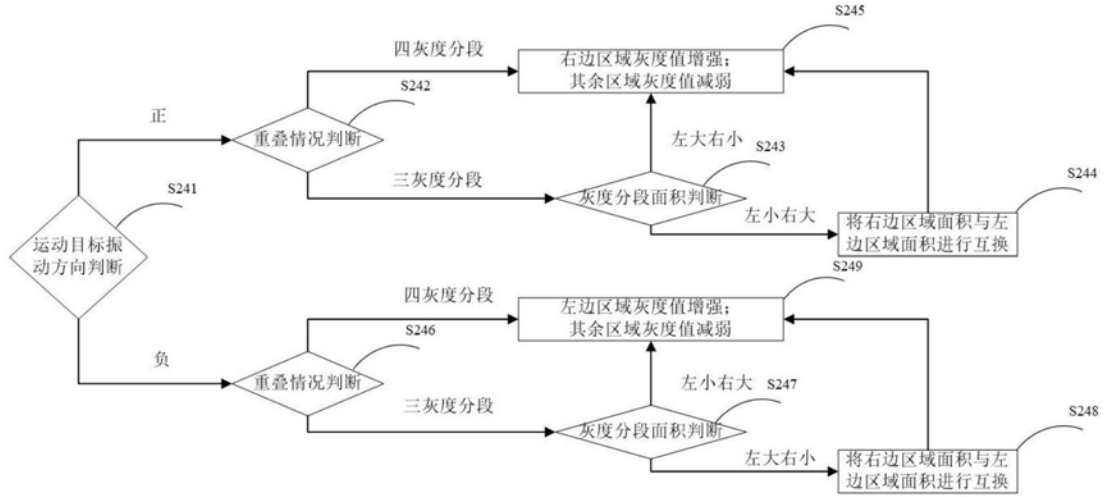


图4

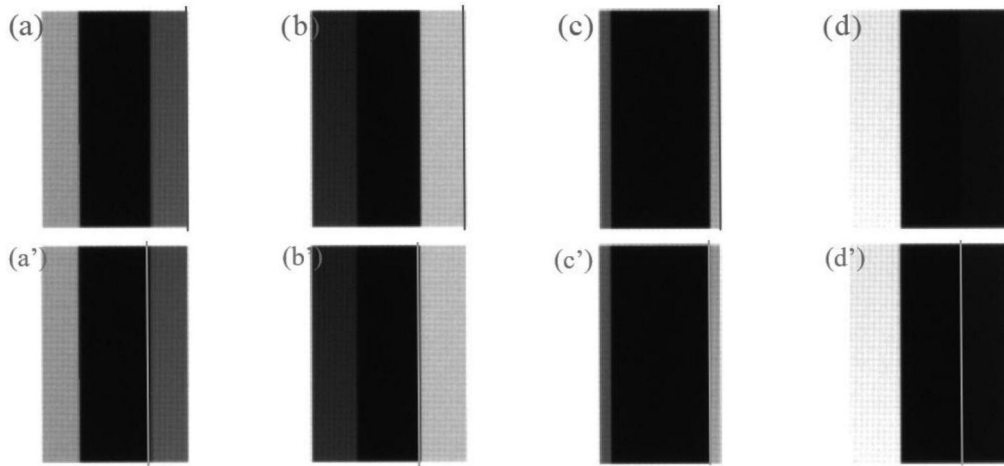


图5

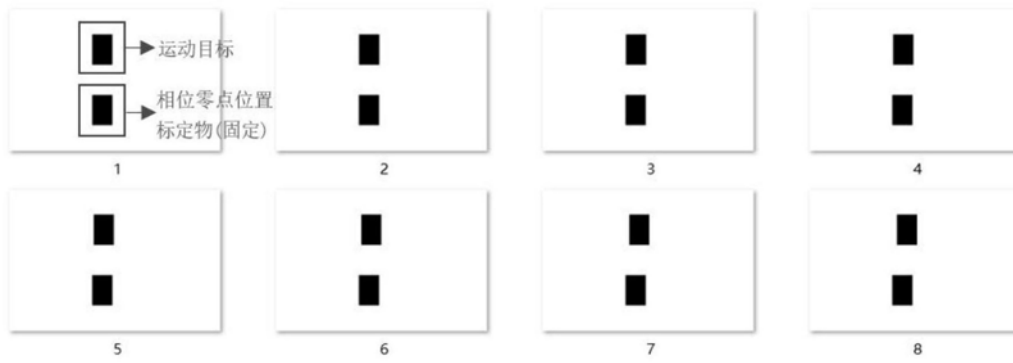


图6

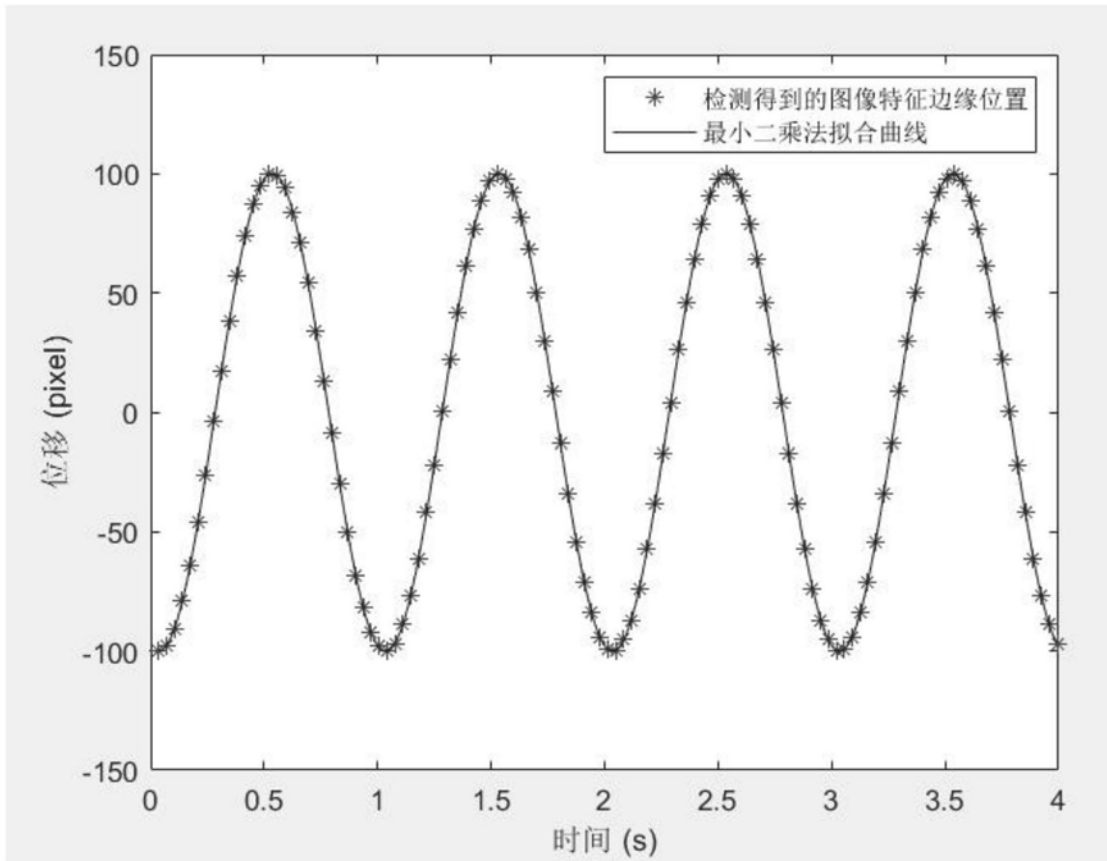


图7

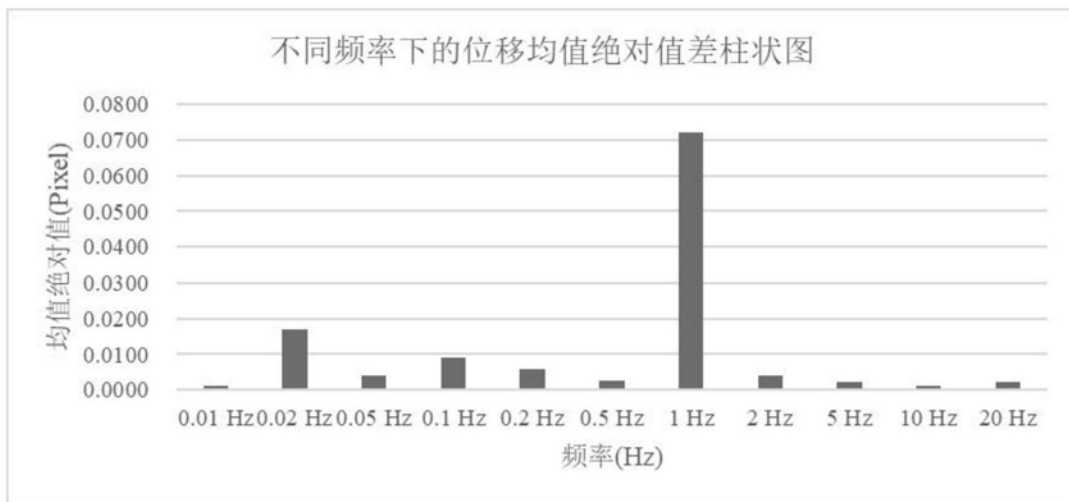


图8

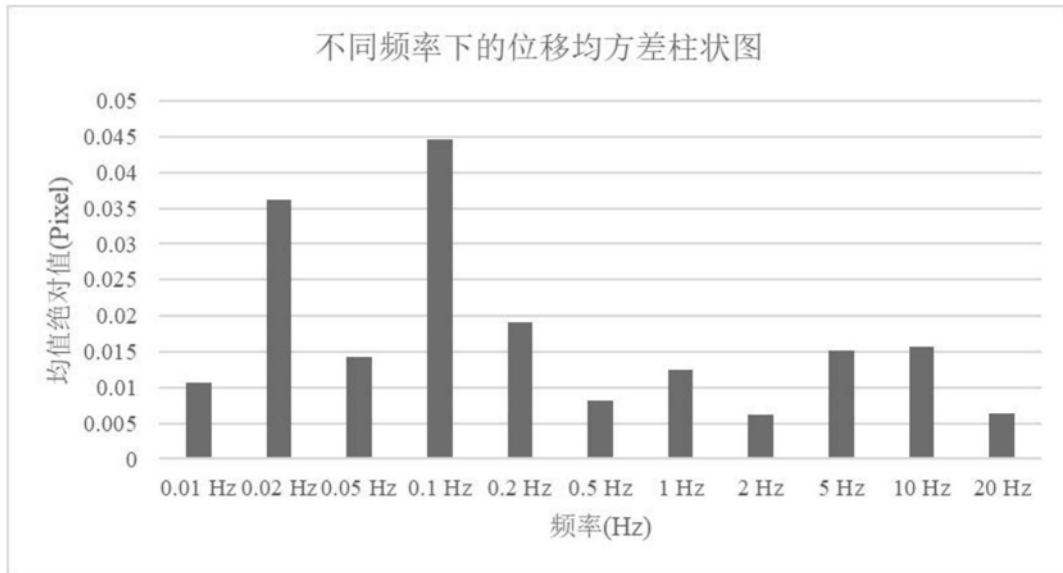


图9

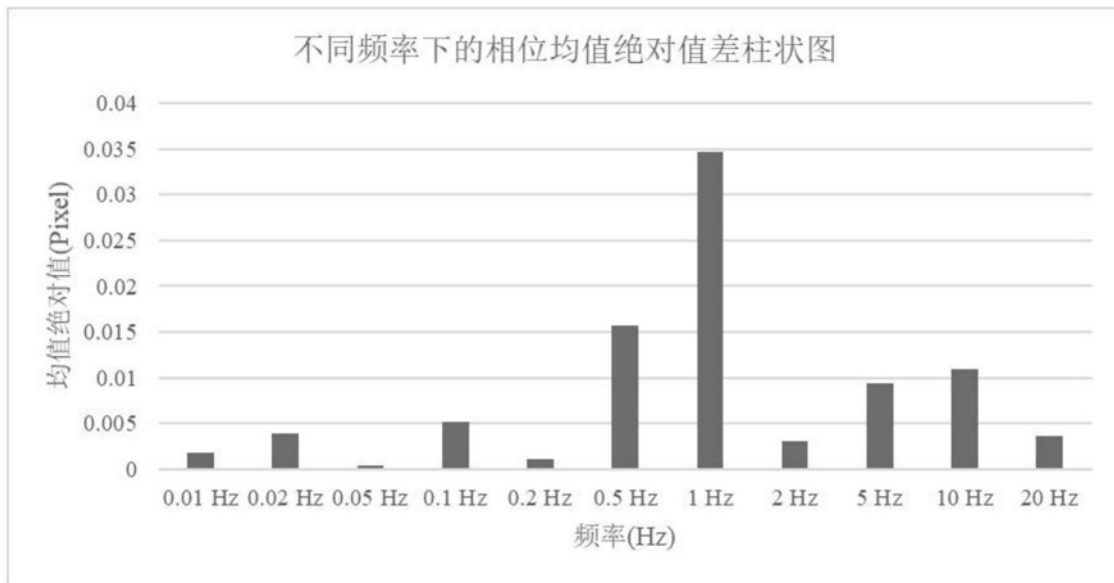


图10

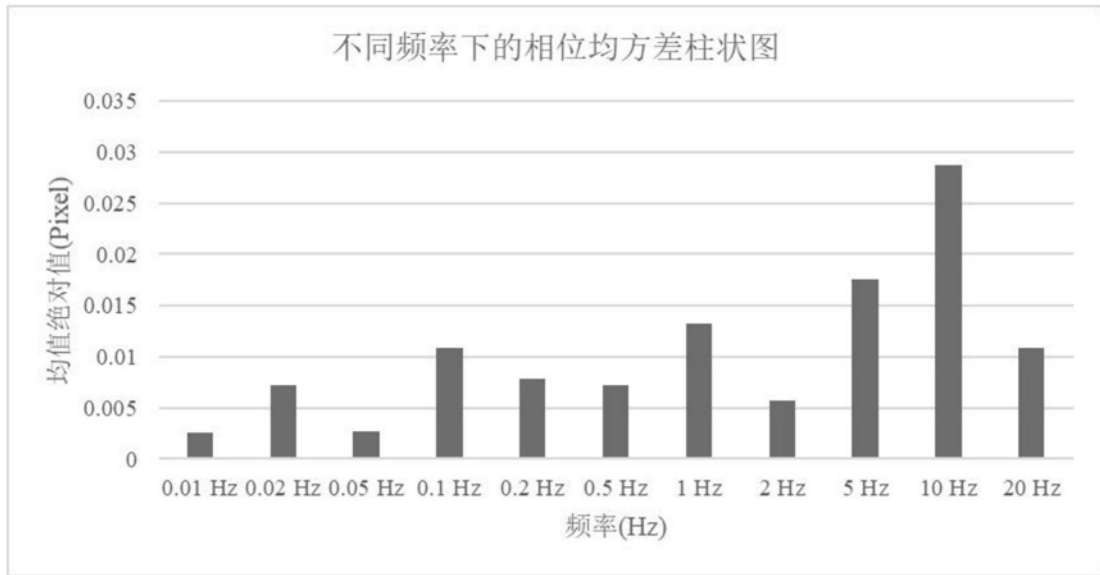


图11