



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105403143 B

(45)授权公告日 2017. 10. 13

(21)申请号 201510711244.5

G01B 11/02(2006.01)

(22)申请日 2015.10.28

G01B 11/16(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105403143 A

(56)对比文件

CN 104729665 A, 2015.06.24,

CN 101825445 A, 2010.09.08,

CN 104048744 A, 2014.09.17,

CN 103954221 A, 2014.07.30,

US 6115052 A, 2000.09.05,

李磊刚 等. 飞机构件运动数据的动态视觉测量系统.《光学精密工程》.2012,第20卷(第9期),

(43)申请公布日 2016.03.16

(73)专利权人 苏州西博三维科技有限公司

地址 215123 江苏省苏州市工业园区仁爱路99号B6幢3楼

审查员 胡婷

(72)发明人 刘建立 张龙 唐正宗 刘小波

李宗剑

(74)专利代理机构 苏州睿昊知识产权代理事务所(普通合伙) 32277

代理人 伍见

(51)Int. Cl.

G01B 11/00(2006.01)

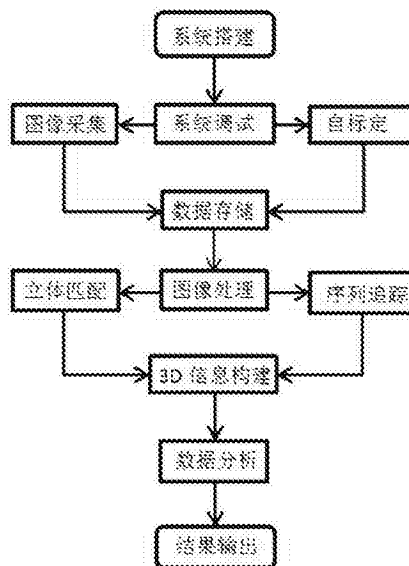
权利要求书2页 说明书7页 附图7页

(54)发明名称

一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法及其系统

(57)摘要

本发明提供一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法,包括搭建测量系统→标识非编码点并进行图像采集→图像上非编码点的空间坐标转换→图像上非编码点的立体动态匹配→图像上的非编码点的序列匹配→图像序列追踪→三维重建→数据的显示和输出。本发明还提供一种匹配所述测量方法使用的测量系统。本发明利用光学原理来获取结构上人工标识非编码点的视频图像,然后基于数字图像处理技术和相关算法对视频图像进行处理,实现测点位置的自动识别与匹配追踪,从而得到测点的三维重建,获取各测点的位移变化量,整个测量过程非接触无损伤、测量精度高、自动化程度高、测量周期短,具有巨大的行业优势和良好的推广应用前景。



1. 一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法,其特征在于:包括以下测量步骤,

步骤一,配置由相机、镜头和激光探测器组成的图像采集装置,并对图像采集装置进行调试,所述相机和镜头均为配套设置的两个,两所述相机对称设置在激光探测器的两侧,所述激光探测器的激光发射端和两所述镜头均正向待检测振动台模型设置;

步骤二,在待检测振动台模型上标识非编码点,启动两相机同步采集获取非编码点的动态图像信息,采集图像信息过程的同时对图像进行预处理,以及基于绝对二次曲面标定方程对相机的内外参数进行自标定处理,并将采集处理后的数据存储至服务器;

步骤三,对采集处理后的图像进行数据计算:以图像上的非编码点为基本元素,基于式一的共线方程算法来计算单幅图像中的点在物方空间坐标系中的坐标 (X, Y, Z) ,

$$\left. \begin{aligned} x - x_0 + \Delta x &= -f \frac{a_1(x - X_s) + b_1(y - Y_s) + c_1(z - Z_s)}{a_2(x - X_s) + b_2(y - Y_s) + c_2(z - Z_s)} = -f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}} \\ y - y_0 + \Delta y &= -f \frac{a_2(x - X_s) + b_2(y - Y_s) + c_2(z - Z_s)}{a_3(x - X_s) + b_3(y - Y_s) + c_3(z - Z_s)} = -f \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}} \end{aligned} \right\} \text{(式一)},$$

其中, (x, y) - 图像中像点坐标; (x_0, y_0) - 图像中主点坐标; $(\Delta x, \Delta y)$ - 像点在成像过程中由于镜头畸变引起的系统误差; f - 相片距离摄影中心 S 距离; (X_s, Y_s, Z_s) - 摄影中心 S 在物方空间坐标系中的坐标; $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$ - 物体点在像空间坐标系中的坐标; (X, Y, Z) - 图像点在物方空间坐标系中的坐标; (a_n, b_n, c_n) 为 $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$ 与 (X, Y, Z) 之间换算的矩阵;

步骤四,图像立体匹配:基于共线方程和共面方程将两幅图像上的同一非编码点在物方空间上的坐标点进行静态匹配,匹配成功后将两幅图像上的同一非编码点的二维信息转化成携带有坐标和位移信息的三维空间点;

步骤五,与图像立体匹配同时完成的图像序列匹配:基于区域搜索算法搜索匹配当前三维空间点的下一个三维空间点,匹配获得的三维空间点为特征点,以此获得同一非编码点的特征点的离散点集;

步骤六,图像序列追踪:以同一非编码点的特征点的离散点集为基础,基于空间域搜索算法对其进行运动轨迹绘制,以此来追踪每个非编码点的3D运动轨迹和三维信息;

步骤七,三维重建:以每个非编码点的运动轨迹为基础进行三维重建,并在软件界面中显示,从软件界面中能够直接读取并输出位移变化量。

2. 根据权利要求1所述的一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法,其特征在于:步骤二中图像预处理的步骤为:

- 2.1) 基于图像二值法对图像信息进行非编码点图像识别处理;
- 2.2) 基于中值滤波对识别的图像进行滤波降噪;
- 2.3) 基于隔离边缘算法对滤波降噪后的图像进行边缘提取;
- 2.4) 基于椭圆方程对边缘提取的图像进行椭圆拟合,以获得定位中心。

3. 根据权利要求1所述的一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法,其特征在于:步骤一中对图像采集装置进行调试的步骤为:

- 3.1) 通过激光探测器获取相机与待检测振动台模型之间的测量距离;

- 3.2) 通过相机镜头的选取来计算两个相机之间的基距和角度;
- 3.3) 判断角度是否合适,如果合适则控制调整相机的位置至最佳状态;否则进入3.2)。
4. 根据权利要求1所述的一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法,其特征在于:步骤七中三维重建失败的特征点,能够进行手动匹配,手动匹配几个状态后,系统会解算手动匹配的特征点,然后自动进行其余状态的匹配,并得到匹配的误差信息。
5. 根据权利要求1所述的一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法,其特征在于:软件界面中能够直接读取并输出每个特征点各个方向的位移变化量。
6. 根据权利要求1所述的一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法,其特征在于:步骤四中的匹配阈值和步骤五中的搜索半径在图像采集装置调试成功后手动外部设置。
7. 根据权利要求5所述的一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法,其特征在于:软件界面中输出文件的格式包括.excel、.txt、工程报告、视频模式、数据模块模式,所述数据模块模式包括各状态时间、三维坐标、三维位移、变形量和相对误差值。
8. 一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量系统,用于完成如权利要求1-7任一项所述的测量方法,其特征在于:包括塔台、由相机、镜头和激光探测器组成的图像采集装置、服务器、以及与服务器连接的能够运行嵌入式系统的终端,所述相机和镜头均为配套设置的两个,两所述相机对称设置在激光探测器的两侧,两所述相机和激光探测器均通过一底座能够滑动的固定设置在一直线导轨内,所述激光探测器的激光发射端和两所述镜头均正向塔台设置。
9. 根据权利要求8所述的一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量系统,其特征在于:所述塔台上设有待测区域,所述待测区域内标识有若干个圆形非编码点,所述相机的高度与待测区域的高度均为10m,所述相机正对待测区域设置,且相机与待测区域之间的测量距离为8m-10m。
10. 根据权利要求9所述的一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量系统,其特征在于:所述非编码点标识的位置为所述塔台的梁结构节点上。

一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法及其系统

技术领域

[0001] 本发明属于光学测量技术领域,涉及一种利用光学原理的三维动态变形测量方法及其测量系统,具体涉及一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法及其系统。

背景技术

[0002] 地震活动具有一定的不可预知性,它的突然降临会给人类带来重大的灾难,尤其对房屋建筑造成的破坏会直接危及人身安全。为此,设计具有高抗震性的房屋建筑具有重大意义。高楼模拟地震振动台试验作为高楼建设施工前一个必不可少的试验论证环节,为高楼的抗震性研究和设计指导,提供了强有力的技术支撑。

[0003] 高楼模拟地震振动台试验主要是将设计好的高层建筑按照一定的比例缩放成一个钢筋混凝土模型,然后利用振动试验台上外部激振设备,模拟各级地震波形,并通过事先在模拟上布置的各类传感器来获取地震响应,最后依据相关技术分析获取到的地震信息,得到所设计高楼的抗震性能,并指导理论研究和后期的高楼设计改进。

[0004] 目前,获取高楼模拟地震振动台试验中位移、速度和加速度等信息,主要依靠接触式测量设备,例如应变计和压电传感器。此类设备具有实时同步采集、测量精度高等优点,但是普遍存在安装调试过程复杂、抗干扰性差等问题。对于大型建筑模拟试验,安装调试往往需要几天甚至几周的时间,并且还要进行各种降噪减噪处理,会消耗大量的人力、物力和财力。

[0005] 近些年来,随着光电技术、电磁技术的发展,依据非接触式手段获取物体的位置变化,已经越来越受到各行业的青睐。根据所使用基本原理的不同,大致可以分为以下几类:

[0006] 1. 激光三角法:激光发射器将发射的可见激光射向被测物体表面,反射后通过接收器,再根据三角测距原理,计算出传感器与被测物之间的距离。常见的有激光位移传感器,它具有测量精度高、适应性强的优点,但是测量目标数有限。

[0007] 2. 电涡流法:根据电磁感应原理,利用探头与被测物之间距离变化,产生的感应电流来间接得到距离。常见有电涡流位移传感器,它具有可靠性高、抗干扰能力强的优点,但是受到工况环境的限制,测量范围有限。

[0008] 3. 超声测量法:利用超声波的反射、折射和波形转换原理,主要用来进行工业的产品缺陷检测,无法用于位移等信息的提取。

[0009] 4. 机器视觉测量:利用计算机视觉和数字视频技术,采用CCD相机将被测物相关特征采集后,经过专门的图像处理软件,利用相关算法,得出需要的位移和三维坐标等信息。此方法具有测量精度高、适用性强的特点,并且相关的测量系统安装调试简单,数据的后期处理周期短。

[0010] 鉴于传统的接触式和非接触式测量方法在模拟地震振动台试验中位移信息获取方面存在的不足,本发明提供一种利用光学原理的三维动态变形测量方法和测量系统来获取模拟地震振动台试验的位移变化。

发明内容

[0011] 为解决上述技术问题,本发明提供了一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法及其系统,非接触无损伤、测量精度高、自动化程度高、测量周期短。

[0012] 为达到上述目的,本发明的技术方案如下:一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量方法,包括以下测量步骤,

[0013] 步骤一,配置由相机、镜头和激光探测器组成的图像采集装置,并对图像采集装置进行调试,所述相机和镜头均为配套设置的两个,两所述相机对称设置在激光探测器的两侧,所述激光探测器的激光发射端和两所述镜头均正向待检测振动台模型设置;

[0014] 步骤二,在待检测振动台模型上标识非编码点,启动两相机同步采集获取非编码点的动态图像信息,采集图像信息过程的同时对图像进行预处理,以及基于绝对二次曲面标定方程对相机的内外参数进行自标定处理,并将采集处理后的数据存储至服务器;

[0015] 步骤三,对采集处理后的图像进行数据计算:以图像上的非编码点为基本元素,基于式一的共线方程算法来计算单幅图像中的点在物方空间坐标系中的坐标 (X, Y, Z) ,

$$\left. \begin{aligned} x - x_0 + \Delta x &= -f \frac{a_1(x - x_s) + b_1(y - y_s) + c_1(z - z_s)}{a_2(x - x_s) + b_2(y - y_s) + c_2(z - z_s)} = -f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}} \\ y - y_0 + \Delta y &= -f \frac{a_2(x - x_s) + b_2(y - y_s) + c_2(z - z_s)}{a_3(x - x_s) + b_3(y - y_s) + c_3(z - z_s)} = -f \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}} \end{aligned} \right\} \text{(式一)},$$

[0016] 其中, (x, y) -图像中像点坐标; (x_0, y_0) -图像中主点坐标; $(\Delta x, \Delta y)$ -像点在成像过程中由于镜头畸变引起的系统误差; f -相片距离摄影中心S距离; (x_s, y_s, z_s) -摄影中心S在物方空间坐标系中的坐标; $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$ -物体点在像空间坐标系中的坐标; (X, Y, Z) -图像点在物方空间坐标系中的坐标; (a_n, b_n, c_n) 为 $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$ 与 (X, Y, Z) 之间换算的矩阵;

[0017] 步骤四,图像立体匹配:基于共线方程和共面方程将两幅图像上的同一非编码点在物方空间上的坐标点进行静态匹配,匹配成功后将两幅图像上的同一非编码点的二维信息转化成携带有坐标和位移信息的三维空间点;

[0018] 步骤五,与图像立体匹配同时完成的图像序列匹配:基于区域搜索算法搜索匹配当前三维空间点的下一个三维空间点,匹配获得的三维空间点为特征点,以此获得同一非编码点的特征点的离散点集;

[0019] 步骤六,图像序列追踪:以同一非编码点的特征点的离散点集为基础,基于空间域搜索算法对其进行运动轨迹绘制,以此来追踪每个非编码点的3D运动轨迹和三维信息;

[0020] 步骤七,三维重建:以每个非编码点的运动轨迹为基础进行三维重建,并在软件界面中显示,从软件界面中能够直接读取并输出位移变化量。

[0021] 本发明的一个较佳实施例中,进一步包括步骤二中图像预处理的步骤为:

[0022] 2.1) 基于图像二值法对图像信息进行非编码点图像识别处理;

[0023] 2.2) 基于中值滤波对识别的图像进行滤波降噪;

[0024] 2.3) 基于隔离边缘算法对滤波降噪后的图像进行边缘提取;

[0025] 2.4) 基于椭圆方程对边缘提取的图像进行椭圆拟合,以获得定位中心。

[0026] 本发明的一个较佳实施例中,进一步包括步骤一中对图像采集装置进行调试的步骤为:

[0027] 3.1) 通过激光探测器获取相机与待检测振动台模型之间的测量距离;

[0028] 3.2) 通过相机镜头的选取来计算两个相机之间的基距和角度;

[0029] 3.3) 判断角度是否合适,如果合适则控制调整相机的位置至最佳状态;否则进入3.2)。

[0030] 本发明的一个较佳实施例中,进一步包括步骤七中三维重建失败的特征点,能够进行手动匹配,手动匹配几个状态后,系统会解算手动匹配的特征点,然后自动进行其余状态的匹配,并得到匹配的误差信息。

[0031] 本发明的一个较佳实施例中,进一步包括软件界面中能够直接读取并输出每个特征点各个方向的位移变化量。

[0032] 本发明的一个较佳实施例中,进一步包括步骤四中的匹配阈值和步骤五中的搜索半径在图像采集装置调试成功后手动外部设置。

[0033] 本发明的一个较佳实施例中,进一步包括软件界面中输出文件的格式包括 .excel、.txt、工程报告、视频模式、数据模块模式,所述数据模块模式包括各状态时间、三维坐标、三维位移、变形量和相对误差值。

[0034] 为达到上述目的,本发明的另一技术方案如下:一种获取模拟地震振动台的位移变化的测量系统,包括塔台、由相机、镜头和激光探测器组成的图像采集装置、服务器、以及与服务器连接的能够运行嵌入式系统的终端,所述相机和镜头均为配套设置的两个,两所述相机对称设置在激光探测器的两侧,两所述相机和激光探测器均通过一底座能够滑动的固定设置在一直线导轨内,所述激光探测器的激光发射端和两所述镜头均正向塔台设置。

[0035] 本发明的一个较佳实施例中,进一步包括所述塔台上设有待测区域,所述待测区域内标识有若干个圆形非编码点,所述相机的高度与待测区域的高度均为10m,所述相机正对待测区域设置,且相机与待测区域之间的测量距离为8m-10m。

[0036] 本发明的一个较佳实施例中,进一步包括所述非编码点标识的位置为所述塔台的梁结构节点上。

[0037] 本发明的有益效果是:本发明利用光学原理来获取结构上人工标识非编码点的视频图像,然后基于数字图像处理技术和相关算法对视频图像进行处理,实现测点位置的自动识别与匹配追踪,从而得到测点的三维重建,获取各测点的位移变化量,整个测量过程非接触无损伤、测量精度高、自动化程度高、测量周期短,具有巨大的行业优势和良好的推广应用前景。

附图说明

[0038] 为了更清楚地说明本发明实施例技术中的技术方案,下面将对实施例技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0039] 图1是本发明优选实施例的工作流程图;

[0040] 图2是本发明优选实施例的测量系统的结构示意图;

- [0041] 图3是本发明优选实施例的图像立体匹配原理图；
[0042] 图4是本发明优选实施例的图像序列匹配原理图；
[0043] 图5是本发明优选实施例的图像采集装置的调试流程图；
[0044] 图6是本发明优选实施例的图像数据采集流程图；
[0045] 图7是本发明优选实施例的图像处理流程图；
[0046] 图8是本发明优选实施例的位移曲线示意图。

具体实施方式

[0047] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0048] 实施例

[0049] 本实施例通过构建模拟地震振动台的测量系统来快速获取模拟地震振动台试验的位移变化量:

[0050] 一、测量系统的搭建

[0051] 如图2所示,搭建所述的模拟地震振动台,包括塔台、由相机、镜头和激光探测器组成的图像采集装置、与图像采集装置连接的服务器、以及与服务器连接的能够运行嵌入式系统的终端,所述相机和镜头均为配套设置的两个,两所述相机对称设置在激光探测器的两侧,两所述相机和激光探测器均通过一底座能够滑动的固定设置在一直线导轨内,所述激光探测器的激光发射端和两所述镜头均正向塔台设置。本发明优选实施例中,所述塔台上设有待测区域,所述待测区域内标识有若干个圆形非编码点,控制直线导轨的安装位置,使得相机的高度与待测区域的高度均为10m,相机与待测区域之间的测量距离为8m-10m,所述相机正对待测区域设置。标识的非编码点视为测量系统的测量点,标识的非编码点优选圆形,相机在拍摄圆形结构时畸变小,最大程度的减小测量误差,为了便于后续工程分析,非编码点优选标识在塔台的梁结构节点上。

[0052] 模拟地震振动台试验过程中由外部触发控制塔台模拟地震振动,塔台振动过程中设置在其上的非编码点的位移会发生变化,两台相机同步拍摄非编码点的照片来采集信息,采集的信息存储在服务器内,终端运行程序对采集的信息基于数字图像处理技术和相关算法进行处理,实现测点位置的自动识别与匹配追踪,从而得到测点的三维重建,获取各测点的位移变化量,并在终端的工作界面上显示并输出位移变化结果。

[0053] 二、如图1所示,具体的测量方法,包括以下步骤:

[0054] 步骤一,进入如图2、5所示的调试图像采集装置:图像采集装置的调试主要是确定相机的测量距离、基距和夹角,首先在塔台的待测区域内标识若干个圆形非编码点,使用激光发射器向待测区域投射激光,测出待测区域与相机的准确距离D(即测量距离),根据测量距离来调整基距,通过调整基距来调整角度,通过基距来计算得到角度,在调整角度的同时终端上的控制器不断的判断角度是否适合,如果适合控制自动控制相机调整其位置至最佳状态,如果不合适则更换镜头(相机视野)重复上述调整角度过程,完成图像采集装置的调试,本发明优选角度的合适范围为 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。

[0055] 步骤二,图像采集装置调试完毕后,进入如图6所示的数据采集,在系统工作界面上手动设定外部工程参数,并激活控制器使其扫描塔台的振动触发信号,控制器接收到地震波激励信号是开始采集,否则控制器等待并持续扫描是否有触发信号,当接收到地震波激励信号时,控制器控制启动两个相机同步、且连续的拍摄待测区域照片,进而采集非编码点的动态图像信息,采集图像信息过程的同时,控制器对采集的图像进行预处理、以及基于绝对二次曲面标定方程对相机的内外参数进行自标定处理,并将处理后的数据存储至服务器。本发明优选实施例中在数据采集的同时采用最先进的基于绝对二次曲面标定方程完成相机内外参数的标定工作,能够大大缩短测量周期。

[0056] 在基于绝对二次曲面标定方程完成相机内外参数的标定工作时可以确定以下参数: (x_0, y_0) -图像中主点坐标; f -相片距离摄影中心S距离; (X_s, Y_s, Z_s) -摄影中心S在物方空间坐标系中的坐标;以及 $(a_n, b_n, c_n) = (\overline{X}, \overline{Y}, \overline{Z})$ 与 (X, Y, Z) 之间换算的矩阵,形成式一中的已知量。

[0057] 其中,对图像进行预处理包括以下步骤:

[0058] 2.1) 基于图像二值法对图像信息进行非编码点的图像识别处理;

[0059] 2.2) 基于中值滤波对识别的图像进行滤波降噪;

[0060] 2.3) 基于隔离边缘算法对滤波降噪后的图像进行边缘提取;

[0061] 2.4) 基于椭圆方程对边缘提取的图像进行椭圆拟合,以获得定位中心,完成采集数据的预处理。基于椭圆方程进行椭圆拟合获得定位中心即为 (x, y) -图像中像点坐标,形成式一中的已知量。

[0062] 优选二值法进行图像识别,可以更容易识别出图像的结构特征,快速识别出非编码点区域;

[0063] 优选中值滤波进行滤波降噪,在去噪的同时能够做到尽量不让边缘像素出现缺失,能够滤掉非编码点上光照不均原因造成的图像边缘失真,在诸多滤波方式中效果最好;

[0064] 优选隔离边缘算法对边缘进行提取,该算法从主动识别方面考虑,只处理局部图像,大大减少了处理量,提高了处理速度;

[0065] 步骤三,采集数据预处理完毕后进入如图7所示的数据计算,对预处理后的图像进行数据计算:以图像上的非编码点为基本元素,基于式一的共线方程算法来计算单幅图像中的点在物方空间坐标中的坐标点集 (X, Y, Z) ,

$$\left. \begin{aligned} x - x_0 + \Delta x &= -f \frac{a_1(x - X_s) + b_1(y - Y_s) + c_1(z - Z_s)}{a_2(x - X_s) + b_2(y - Y_s) + c_2(z - Z_s)} = -f \frac{\overline{X}}{\overline{Z}} \\ y - y_0 + \Delta y &= -f \frac{a_2(x - X_s) + b_2(y - Y_s) + c_2(z - Z_s)}{a_3(x - X_s) + b_3(y - Y_s) + c_3(z - Z_s)} = -f \frac{\overline{Y}}{\overline{Z}} \end{aligned} \right\} \text{(式一)}$$

[0066] 其中, (x, y) -图像中像点坐标; (x_0, y_0) -图像中主点坐标; $(\Delta x, \Delta y)$ -像点在成像过程中由于镜头畸变引起的系统误差; f -相片距离摄影中心S距离; (X_s, Y_s, Z_s) -摄影中心S在物方空间坐标系中的坐标; $(\overline{X}, \overline{Y}, \overline{Z})$ -物体点在像空间坐标系中的坐标; (X, Y, Z) -图像点在物方空间坐标系中的坐标; (a_n, b_n, c_n) 为 $(\overline{X}, \overline{Y}, \overline{Z})$ 与 (X, Y, Z) 之间换算的矩阵。

[0067] 其中, (x, y) 、 (x_0, y_0) 、 f 、 (X_s, Y_s, Z_s) 、 (a_n, b_n, c_n) 为在调试和自标定过程中获得的已知参数, $(\Delta x, \Delta y)$ 为相机出厂时提供的已知参数, 将两相机拍摄的两幅图像的上述参数分别代入式一中可以换算得到 $(\overline{X}, \overline{Y}, \overline{Z})$, 再通过矩阵 (a_n, b_n, c_n) 来换算获得 (X, Y, Z) 。

[0068] 由此, 经过式一换算后图像上的一个非编码点对应与物方空间坐标系上的一个坐标, 同一图像上的若干个非编码点分别经式一换算后获得在物方空间坐标系上的坐标点集 (X, Y, Z) 。

[0069] 步骤四, 数据计算完毕后进入如图3所示的图像立体匹配: 基于共线方程和共面方程将处于同一时序上的两幅图像上的同一非编码点在物方空间上的坐标点进行静态匹配, 匹配成功后将两幅图像上的同一非编码点的二维信息转化成携带有坐标和位移信息的三维空间点, 其中, 匹配阈值可以在图像采集装置调试成功后手动外部设置, 本发明优选的匹配阈值为两个像素, 在达到较好匹配效果的同时不会出现匹配错误。

[0070] 步骤五, 与图像立体匹配同时完成的如图4所示的图像序列匹配: 基于区域搜索算法搜索匹配当前三维空间点的下一个三维空间点, 匹配获得的三维空间点为特征点, 以此获得同一非编码点的特征点的离散点集, 其中, 区域搜索半径可以在图像采集装置调试成功后手动外部设置, 本发明优选的区域搜索半径为50像素之内。

[0071] 步骤六, 图像立体匹配和序列匹配同时完毕后进入如图8所示的图像序列追踪: 以同一非编码点的特征点的离散点集为基础, 基于空间域搜索算法对其进行运动轨迹绘制, 以此来追踪每个非编码点的3D运动轨迹和三维信息, 其中, 空间搜索半径可以在图像采集装置调试成功后手动外部设置, 本发明优选空间搜索半径为10mm, 可以达到很好的效果。

[0072] 步骤七, 三维重建: 以每个非编码点的运动轨迹为基础进行三维重建, 并在软件界面中显示, 从软件界面中能够直接读取并输出位移变化量, 在软件界面中能够直接读取并输出每个特征点各个方向的位移变化量。

[0073] 三维重建成功的特征点, 在软件三维视区可以观察到其三维空间状态, 三维重建失败的特征点, 能够进行手动匹配, 手动匹配几个状态后, 系统会解算手动匹配的特征点, 然后自动进行其余状态的匹配, 并得到匹配的误差信息。

[0074] 为了满足模拟地震工程需求, 本测量系统附加有坐标转换功能, 可以将三维特征点任意变换至任意坐标系中, 利用轨迹追踪模式可以显示特征点3D运动轨迹, 预测特征点的位置状态; 使用曲线绘制功能, 可以得到特征点各个方向的位移变化情况。

[0075] 为了满足模拟地震实际需求, 便于工程技术人员利用试验数据进行其他的分析研究和对比论证, 软件界面中输出文件的格式包括 .excel、.txt、工程报告、视频模式、数据模块模式, 所述数据模块模式包括各状态时间、三维坐标、三维位移、变形量和相对误差值。

[0076] 经过上述测量系统的搭建、系统调试、数据采集、数据分析、三维重建和数据输出, 完成本发明获取模拟地震振动台试验的位移变化的测量, 相比其它的测量方法在模拟地震振动台试验的应用, 本发明利用光学原理的三维动态变形测量方法具有巨大的行业优势和良好的推广应用前景, 具有如下技术特点:

[0077] 1、实现自动调试, 可以根据测量距离, 自动调整采集器之间的基距及其夹角。

[0078] 2、快速高效的自标定过程, 在数据采集的同时即完成采集器内外参数的标定工

作。

[0079] 3、实现外部触发控制,系统可以无障碍与振动台控制室保持通讯,系统在获取到外部地震波激励指令时开始采集。

[0080] 4、自动匹配功能,针对特征点在处理计算时匹配失败,可以手动匹配部分状态后,开启自动匹配功能,完成后续的匹配工作。

[0081] 5、非接触式测量方法,排除了现场复杂的工况因素,将干扰因素降低到最低。

[0082] 6、高效的数据处理分析能力,相比其它测量方法,本测量方法在设备搭建调试和处理海量数据时,通常只需要几天的时间,大大缩短了工作周期,提高了工程效率。

[0083] 7、测量精度较高,将试验的数据与其它测量方法得到的数据进行对比分析后,得出了测量精度优于位移传感器的测量精度,与应变片的测量精度很接近,完全满足模拟地震试验要求。

[0084] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

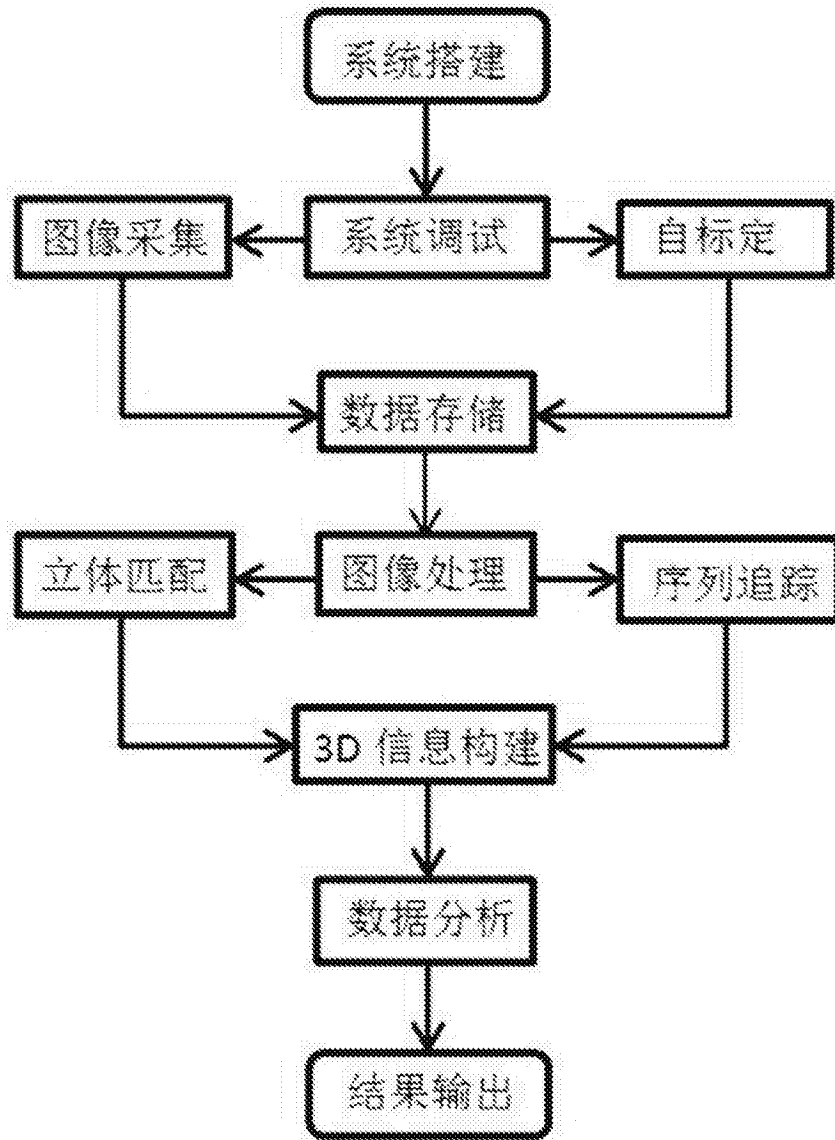


图1

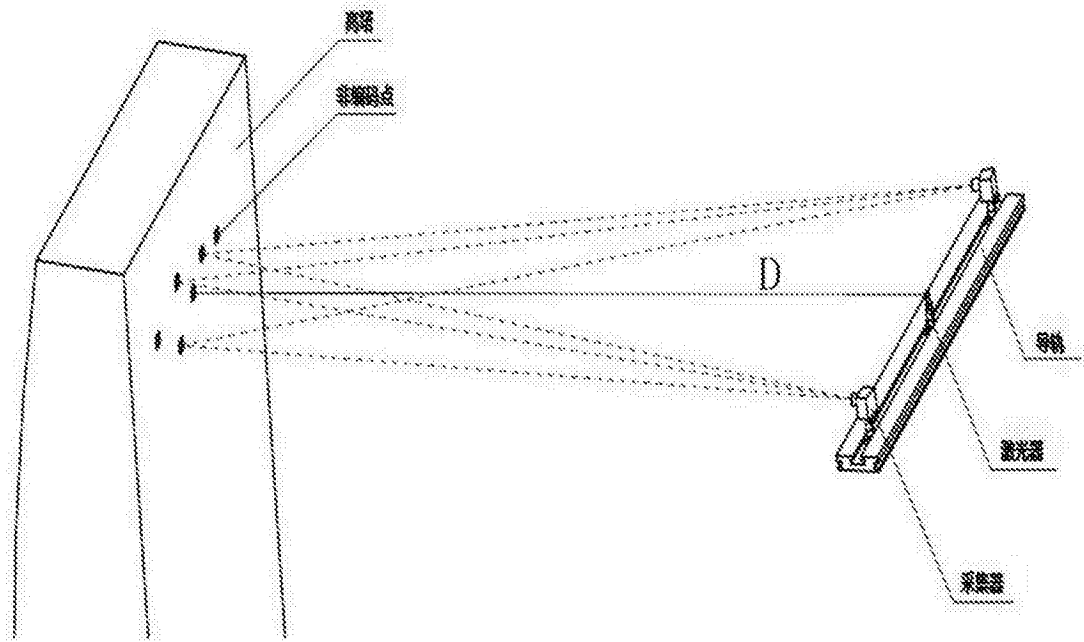


图2

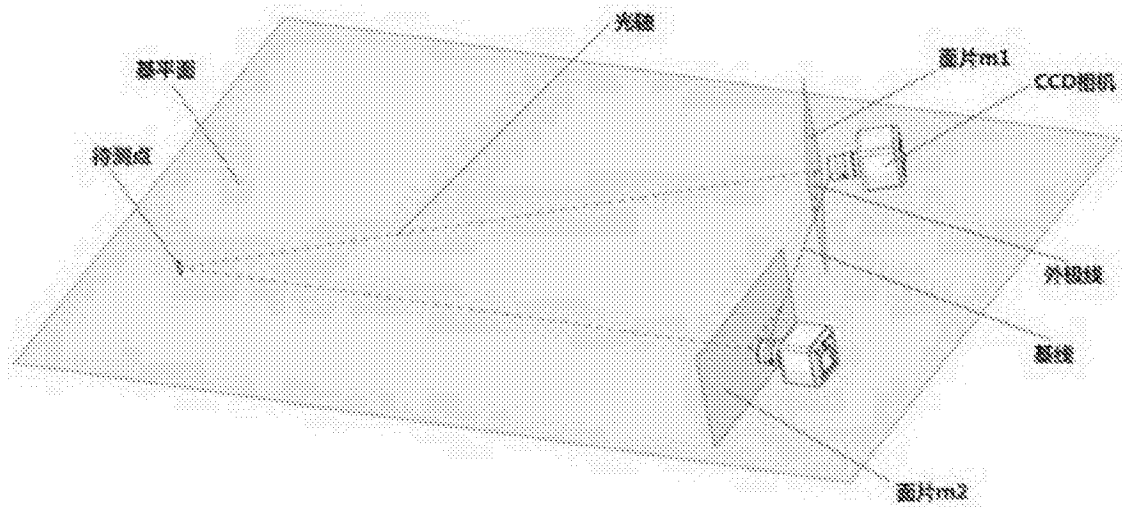


图3

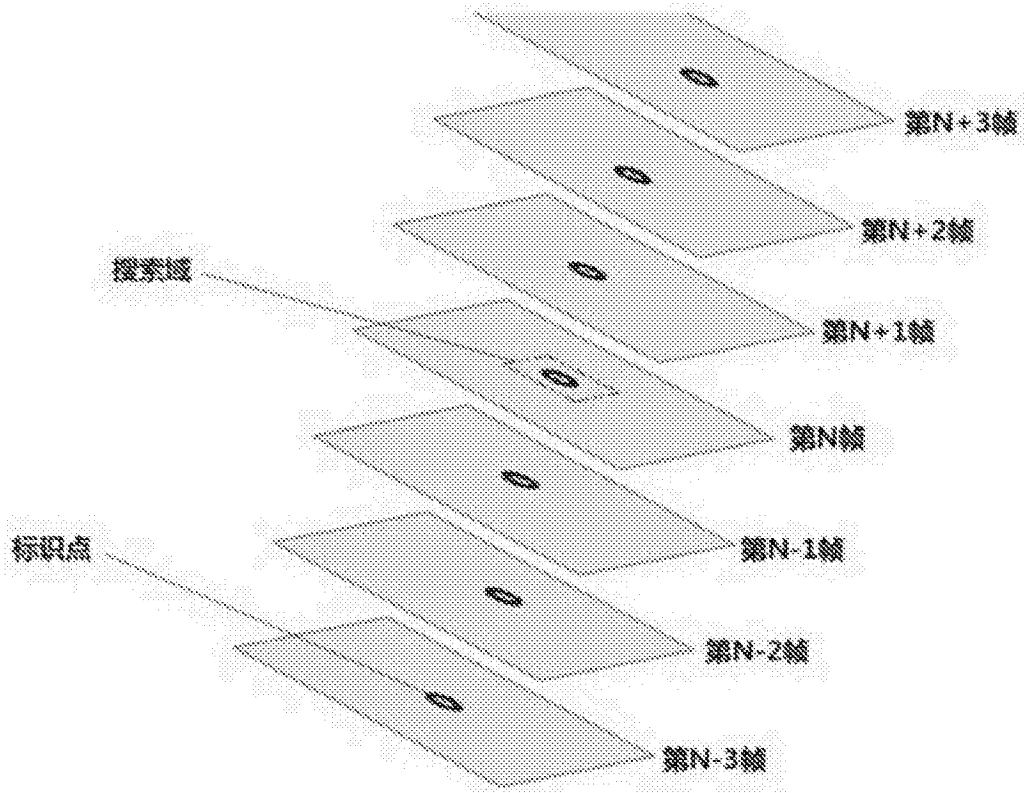


图4

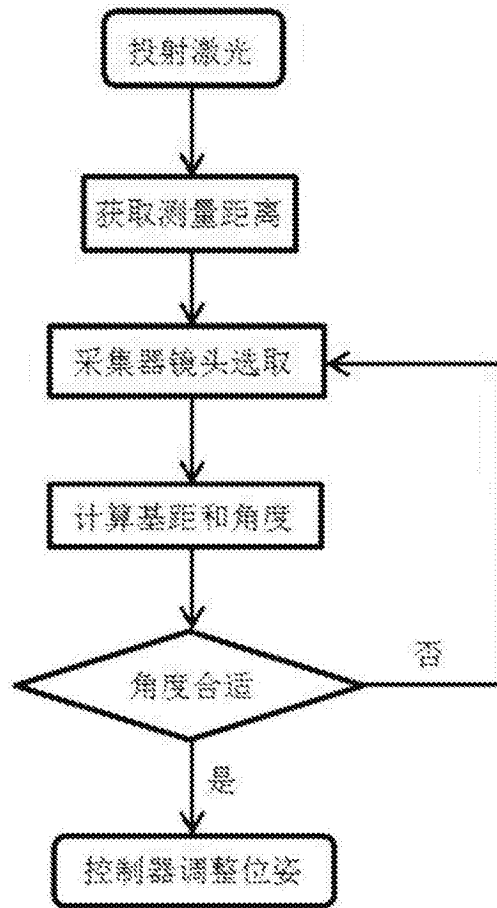


图5

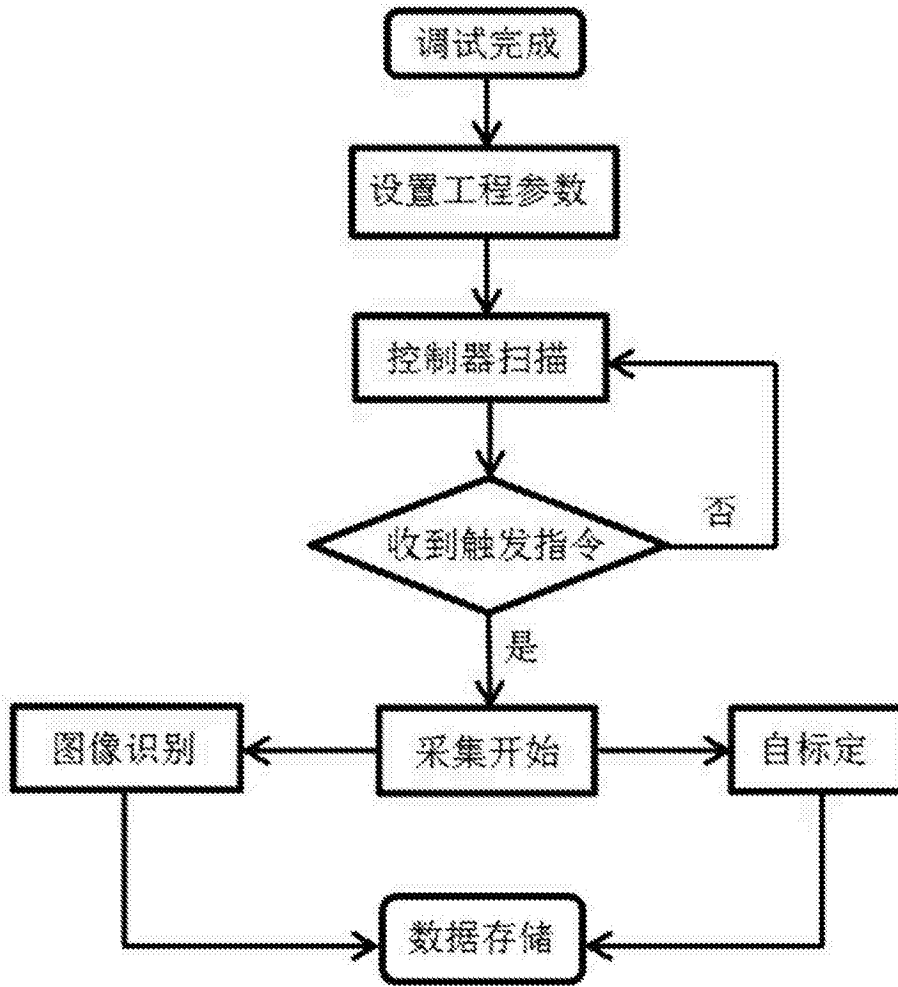


图6

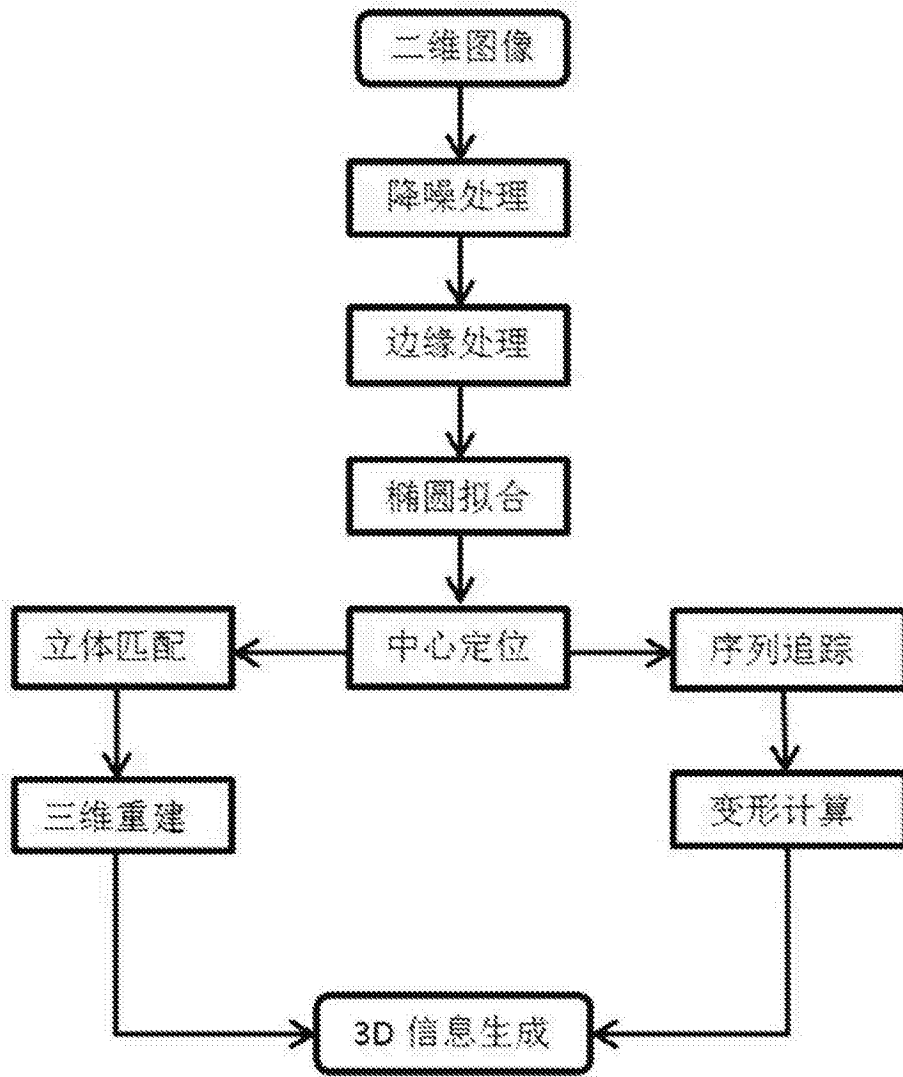


图7

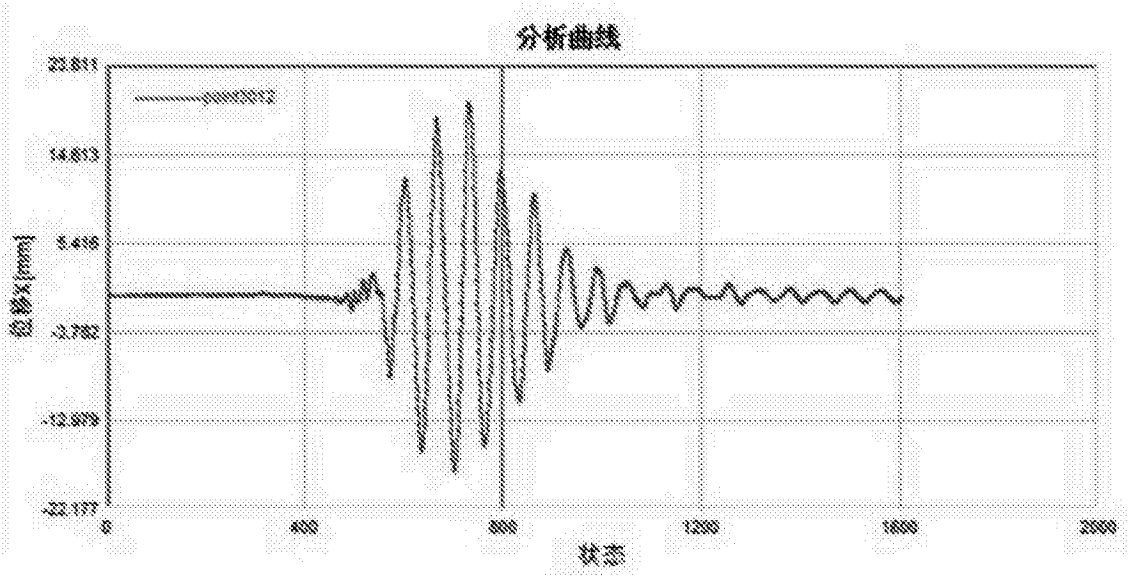


图8