



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107907066 B

(45)授权公告日 2019.08.02

(21)申请号 201711093842.6

(22)申请日 2017.11.08

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107907066 A

(43)申请公布日 2018.04.13

(73)专利权人 武汉大学
地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学

(72)发明人 仲思东 陈彭鑫 刘宇轩

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 42222
代理人 张火春

(51)Int.Cl.
G01B 11/16(2006.01)

(56)对比文件

FR 2835603 A1,2003.08.08,全文.

CN 201463843 U,2010.05.12,全文.

CN 101832760 A,2010.09.15,全文.

CN 202928571 U,2013.05.08,全文.

CN 105091772 A,2015.11.25,全文.

王翔等.基于机器视觉的桥梁形变在线监测
技术研究.《公路工程》.2014,第39卷(第1期),第
198-201页.

陈若珠等.基于机器视觉技术的振动台试验
变形位移测量方法研究.《计算机测量与控制》
.2016,(第6期),第56-59页.

审查员 胡锋

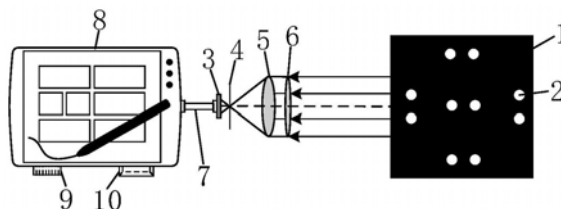
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

单目六自由度形变监测系统与方法

(57)摘要

本发明公开了一种单目六自由度形变监测
系统及方法,包括靶标、视觉采集单元、中央处理
单元和输出接口单元;其中:靶标固定于待监测
物体表面,其上设有5对圆形标记对,所有圆形标
记等大;所述靶标和所述圆形标记的表面为具有
灰度差异的两种颜色,以能从靶标图像中提取出
圆形标记;所述5对圆形标记对分别位于所述靶
标的中心、上侧、下侧、左侧和右侧;视觉采集单
元用来采集靶标的视频流数据,其包括沿光路依
次排列的CCD成像传感器、光阑、光学透镜组、滤
光片;中央处理单元用来对所述视频流数据进行
图像处理,并通过所述输出接口单元输出处理结
果.本发明结合单目视觉和近景摄影测量,实现
了物体六自由度形变的在线监测。



1. 单目六自由度形变监测系统,其特征是:

包括靶标、视觉采集单元、中央处理单元和输出接口单元;其中:

靶标固定于待监测物体表面,其上设有5对圆形标记对,所有圆形标记等大;所述靶标和所述圆形标记的表面为具有灰度差异的两种颜色,以能从靶标图像中提取出圆形标记;

所述5对圆形标记对分别位于所述靶标的中心、上侧、下侧、左侧和右侧,分别记为中央标记对、上标记对、下标记对、左标记对、右标记对;其中,中央标记对、上标记对和下标记对中的两圆形标记分别水平对齐,且上标记对和下标记对关于中央标记对上下对称分布;左标记对和右标记对中的两圆形标记分别垂直对齐,且左标记对和右标记对关于中央标记对左右对称;

视觉采集单元用来采集靶标的视频流数据,其包括沿光路依次排列的CCD成像传感器、光阑、光学透镜组、滤光片;

中央处理单元用来对所述视频流数据进行图像处理,并通过所述输出接口单元输出处理结果。

2. 采用权利要求1所述单目六自由度形变监测系统的单目六自由度形变监测方法,其特征是:

包括对权利要求1所述视觉采集单元所采集的视频流数据进行如下处理:

S100框选中央标记对,所框选的帧图像记为初始帧图像,所框选的矩形区域记为框选区域,提取中央标记对轮廓,基于所提取的中央标记对轮廓、以及各标记对的先验位置关系,计算初始帧图像的靶标位置信息;所述靶标位置信息包括①中央标记对轮廓及圆心位置、②中央标记对的像素圆心距和像素半径、③上标记对、下标记对、左标记对、右标记对的圆心位置;

S200根据相邻帧图像中前帧图像的靶标位置信息,获取各相邻帧图像中后帧图像的靶标位置信息,从而获得各帧图像的靶标位置信息,本步骤进一步包括:

S210预估后帧图像中中央标记对处的矩形区域,记为预估区域,具体为:

当相邻两帧图像中前帧图像为初始帧图像,则后帧图像的预估区域为前帧图像的框选区域;当相邻两帧图像中前帧图像不为初始帧图像,则根据前帧图像的前一帧到前帧图像的时间间隔内,中央标记对作帧间位移的速度矢量,并结合前帧图像的预估区域,预估后帧图像的预估区域;

所述中央标记对作帧间位移的速度矢量的计算为:

根据相邻两帧图像中中央标记对的圆心位置,计算中央标记对帧间的位移矢量;根据相邻两帧图像的时间间隔和帧间的位移矢量,计算中央标记对帧间位移的速度矢量;

S220对后帧图像的预估区域进行分割,提取中央标记对轮廓,计算后帧图像的靶标位置信息;

S300根据各帧图像和初始帧图像的靶标位置信息,获得各帧图像中靶标相对初始帧图像的形变量,所述形变量包括中央标记对的实际水平位移量、实际垂直位移量、光轴方向的实际位移量、以及靶标绕水平方向、垂直方向、光轴方向的旋转角。

3. 如权利要求2所述的单目六自由度形变监测方法,其特征是:

步骤S100进一步包括:

S110人工框选中央标记对,框选的帧图像记为初始帧图像,所框选的矩形区域记为框

选区域；

S120对框选区域进行分割，提取中央标记对轮廓及圆心位置；

S130根据圆心位置计算中央标记对的像素圆心距和像素半径；

S140按照各标记对的先验位置关系，在初始帧图像中搜索上标记对、下标记对、左标记对和右标记对，并获得所有标记对的圆心位置。

4. 如权利要求2所述的单目六自由度形变监测方法，其特征是：

步骤S210中，所述中央标记对帧间位移的速度矢量 \vec{v} 为：

$$\vec{v} = fps \cdot (\overrightarrow{\Delta x_{n,n+1}} + \overrightarrow{\Delta y_{n,n+1}} + \overrightarrow{\Delta z_{n,n+1}});$$

其中：

$\overrightarrow{\Delta x_{n,n+1}}$ 为相邻两帧图像中中央标记对的实际水平位移矢量；

$\overrightarrow{\Delta y_{n,n+1}}$ 为相邻两帧图像中中央标记对的实际垂直位移矢量；

$\overrightarrow{\Delta z_{n,n+1}}$ 为相邻两帧图像中中央标记对的实际光轴方向位移矢量；

fps表示相邻两帧图像的时间间隔的倒数。

5. 如权利要求2所述的单目六自由度形变监测方法，其特征是：

所述中央标记对的实际水平位移量和实际垂直位移量采用公式

$$\begin{cases} k = \frac{D}{D_p} \\ \Delta x = k \cdot \Delta x_p \\ \Delta y = k \cdot \Delta y_p \end{cases} \text{ 计算,}$$

其中：

k为成像比例；D为中央标记对的实际圆心距，D为先验信息；D_p为初始帧图像中中央标记对的像素圆心距；

Δx 为当前帧图像相对于初始帧图像的中央标记对的实际水平位移量；

Δx_p 为当前帧图像相对于初始帧图像的中央标记对的像素水平位移量；

Δy 为当前帧图像相对于初始帧图像的中央标记对的实际垂直位移量；

Δy_p 为当前帧相对于初始帧图像的中央标记对的像素垂直位移量。

6. 如权利要求2所述的单目六自由度形变监测方法，其特征是：

所述靶标绕光轴方向的旋转角 $\gamma = \sin^{-1} \frac{\Delta y_l + \Delta y_r}{H_{lr}}$ ，其中， Δy_l 和 Δy_r 分别为左标记对和

右标记对的实际垂直位移量，根据各帧图像和初始帧图像中的靶标位置信息获得；H_{lr}为左标记对和右标记对的距离。

7. 如权利要求2所述的单目六自由度形变监测方法，其特征是：

所述靶标绕水平方向的旋转角 $\alpha = \sin^{-1} \frac{f \cdot (\frac{1}{d_t} + \frac{1}{d_b} - \frac{2}{d_0})}{h_{tb}}$ ，其中，f为光学透镜组的焦距；

d_t、d_b、d₀分别为各帧图像中上标记对、下标记对和中央标记对的像素圆心距；h_{tb}为上标记对和下标记对的距离与中央标记对实际圆心距之比。

8. 如权利要求2所述的单目六自由度形变监测方法,其特征是:

所述靶标绕垂直方向的旋转角 $\beta = \sin^{-1} \frac{f \cdot (\frac{1}{d_l} + \frac{1}{d_r} - \frac{2}{d_0})}{h_{ld}}$, 其中, f 为光学透镜组的焦距;

d_l 、 d_r 、 d_0 分别为各帧图像中左标记对、右标记对、中央标记对的像素圆心距; h_{ld} 为左标记对和右标记对的距离与中央标记对实际圆心距之比。

9. 如权利要求2所述的单目六自由度形变监测方法,其特征是:

还包括遮挡判断以及丢弃受遮挡影响的帧图像的步骤;

所述遮挡判断步骤包括:

对各帧图像中所有圆形标记,分别计算其轮廓内的像素面积、像素灰度平均值和轮廓长短轴比三要素,将各帧图像的三要素值分别与其前帧图像的三要素值作差,一旦有圆形标记的某一三要素值的差值超过该要素对应的预设阈值,即判断为受遮挡影响。

10. 如权利要求2所述的单目六自由度形变监测方法,其特征是:

还包括对第 n 帧及以后的帧图像的形变量进行平滑处理的步骤,具体为:

计算当前帧图像相对初始帧图像的形变量,并与当前帧图像前 $n-1$ 帧图像分别相对初始帧图像的形变量求算术平均值,将算术平均值作为当前帧图像的平滑结果;其中, n 根据相机参数和处理器性能在 $50 \sim 100$ 范围内取值。

单目六自由度形变监测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于近景摄影测量技术领域,具体地说,涉及一种单目六自由度形变监测系统及方法。

背景技术

[0002] 形变指物体受到外力而产生伸缩、倾斜、弯曲等形状变化。形变广泛存在于现代建筑及自然地形中,如桥梁、大坝、矿山和高层建筑因年久失修造成的下沉、倾斜等范性形变,地形因自然灾害造成的滑坡、岩崩、地震、地表沉陷等。形变在一定的范围内是可以存在的,称之为安全范围。若形变超出安全范围,则会演变成事故或灾害,从而危害国民的人身财产安全。因此,对现代建筑和自然地形的形变情况进行在线监测就显得尤为重要。

[0003] 近景摄影测量(Close Range Photogrammetry)技术是指对物距不大于300米的目标摄取影像,并利用图像处理技术和靶标的先验信息测量目标物的尺寸、速度等信息。本发明主要提出一套完整的单目六自由度形变监测技术,通过单目视觉和近景摄影测量技术,同时解决形变监测过程中的多自由度、实时性、便携性、遮挡敏感等技术问题。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种结合了单目视觉和近景摄影测量的单目六自由度形变监测系统及方法。

[0005] 本发明提供的单目六自由度形变监测系统,包括靶标、视觉采集单元、中央处理单元和输出接口单元;其中:

[0006] 靶标固定于待监测物体表面,其上设有5对圆形标记对,所有圆形标记等大;所述靶标和所述圆形标记的表面为具有灰度差异的两种颜色,以能从靶标图像中提取出圆形标记;

[0007] 所述5对圆形标记对分别位于所述靶标的中心、上侧、下侧、左侧和右侧,分别记为中央标记对、上标记对、下标记对、左标记对、右标记对;其中,中央标记对、上标记对和下标记对中的两圆形标记分别水平对齐,且上标记对和下标记对关于中央标记对上下对称分布;左标记对和右标记对中的两圆形标记分别垂直对齐,且左标记对和右标记对关于中央标记对左右对称;

[0008] 视觉采集单元用来采集靶标的视频流数据,其包括沿光路依次排列的CCD成像传感器、光阑、光学透镜组、滤光片;

[0009] 中央处理单元用来对所述视频流数据进行图像处理,并通过所述输出接口单元输出处理结果。

[0010] 本发明提供的单目六自由度形变监测方法,包括对权利要求1所述视觉采集单元所采集的视频流数据进行如下处理:

[0011] S100框选中央标记对,所框选的帧图像记为初始帧图像,所框选的矩形区域记为框选区域,提取中央标记对轮廓,基于所提取的中央标记对轮廓、以及各标记对的先验位置

关系,计算初始帧图像的靶标位置信息;所述靶标位置信息包括①中央标记对轮廓及圆心位置、②中央标记对的像素圆心距和像素半径、③上标记对、下标记对、左标记对、右标记对的圆心位置;

[0012] S200根据相邻帧图像中前帧图像的靶标位置信息,获取各相邻帧图像中后帧图像的靶标位置信息,从而获得各帧图像的靶标位置信息,本步骤进一步包括:

[0013] S210预估后帧图像中中央标记对处的矩形区域,记为预估区域,具体为:

[0014] 当相邻两帧图像中前帧图像为初始帧图像,则后帧图像的预估区域为前帧图像的框选区域;当相邻两帧图像中前帧图像不为初始帧图像,则根据前帧图像的前一帧到前帧图像的时间间隔内,中央标记对作帧间位移的速度矢量,并结合前帧图像的预估区域,预估后帧图像的预估区域;

[0015] 所述中央标记对作帧间位移的速度矢量的计算为:

[0016] 根据相邻两帧图像中中央标记对的圆心位置,计算中央标记对帧间的位移矢量;根据相邻两帧图像的时间间隔和帧间的位移矢量,计算中央标记对帧间位移的速度矢量;

[0017] S220对后帧图像的预估区域进行分割,提取中央标记对轮廓,计算后帧图像的靶标位置信息;

[0018] S300根据各帧图像和初始帧图像的靶标位置信息,获得各帧图像中靶标相对初始帧图像的形变量,所述形变量包括中央标记对的实际水平位移量、实际垂直位移量、光轴方向的实际位移量、以及靶标绕水平方向、垂直方向、光轴方向的旋转角。

[0019] 进一步的,步骤S100进一步包括:

[0020] S110人工框选中央标记对,框选的帧图像记为初始帧图像,所框选的矩形区域记为框选区域;

[0021] S120对框选区域进行分割,提取中央标记对轮廓及圆心位置;

[0022] S130根据圆心位置计算中央标记对的像素圆心距和像素半径;

[0023] S140按照各标记对的先验位置关系,在初始帧图像中搜索上标记对、下标记对、左标记对和右标记对,并获得所有标记对的圆心位置。

[0024] 进一步的,步骤S210中,所述中央标记对帧间位移的速度矢量 \vec{v} 为:

$$[0025] \quad \vec{v} = fps \cdot (\overrightarrow{\Delta x_{n,n+1}} + \overrightarrow{\Delta y_{n,n+1}} + \overrightarrow{\Delta z_{n,n+1}});$$

[0026] 其中:

[0027] $\overrightarrow{\Delta x_{n,n+1}}$ 为相邻两帧图像中中央标记对的实际水平位移矢量;

[0028] $\overrightarrow{\Delta y_{n,n+1}}$ 为相邻两帧图像中中央标记对的实际垂直位移矢量;

[0029] $\overrightarrow{\Delta z_{n,n+1}}$ 为相邻两帧图像中中央标记对的实际光轴方向位移矢量;

[0030] fps表示相邻两帧图像的时间间隔的倒数。

[0031] 进一步的,所述中央标记对的实际水平位移量和实际垂直位移量采用公式

$$\begin{cases} k = \frac{D}{D_p} \\ \Delta x = k \cdot \Delta x_p \\ \Delta y = k \cdot \Delta y_p \end{cases} \text{ 计算,}$$

[0032] 其中:

[0033] k 为成像比例; D 为中央标记对的实际圆心距, D 为先验信息; D_p 为初始帧图像中中央标记对的像素圆心距;

[0034] Δx 为当前帧图像相对于初始帧图像的中央标记对的实际水平位移量;

[0035] Δx_p 为当前帧图像相对于初始帧图像的中央标记对的像素水平位移量;

[0036] Δy 为当前帧图像相对于初始帧图像的中央标记对的实际垂直位移量;

[0037] Δy_p 为当前帧相对于初始帧图像的中央标记对的像素垂直位移量;

[0038] 进一步的,所述靶标绕光轴方向的旋转角 $\gamma = \sin^{-1} \frac{\Delta y_l + \Delta y_r}{H_{lr}}$, 其中, Δy_l 和 Δy_r 分别为左标记对和右标记对的实际垂直位移量,根据各帧图像和初始帧图像中的靶标位置信息获得; H_{lr} 为左标记对和右标记对的距离。

[0039] 进一步的,所述靶标绕水平方向的旋转角 $\alpha = \sin^{-1} \frac{f \cdot (\frac{1}{d_t} + \frac{1}{d_b} - \frac{2}{d_0})}{h_{tb}}$, 其中, f 为光学透镜组的焦距; d_t 、 d_b 、 d_0 分别为各帧图像中上标记对、下标记对和中央标记对的像素圆心距; h_{tb} 为上标记对和下标记对的距离与中央标记对实际圆心距之比。

[0040] 进一步的,所述靶标绕垂直方向的旋转角 $\beta = \sin^{-1} \frac{f \cdot (\frac{1}{d_l} + \frac{1}{d_r} - \frac{2}{d_0})}{h_{ld}}$, 其中, f 为光学透镜组的焦距; d_l 、 d_r 、 d_0 分别为各帧图像中左标记对、右标记对、中央标记对的像素圆心距; h_{ld} 为左标记对和右标记对的距离与中央标记对实际圆心距之比。

[0041] 进一步的,本发明方法还包括遮挡判断以及丢弃受遮挡影响的帧图像的步骤;

[0042] 所述遮挡判断步骤包括:

[0043] 所述遮挡判断步骤包括:

[0043] 对各帧图像中所有圆形标记,分别计算其轮廓内的像素面积、像素灰度平均值和轮廓长短轴比三要素,将各帧图像的三要素值分别与其前帧图像的三要素值作差,一旦有圆形标记的某一三要素值的差值超过该要素对应的预设阈值,即判断为受遮挡影响。

[0044] 进一步的,本发明方法还包括对第 n 帧及以后的帧图像的形变量进行平滑处理的步骤,具体为:

[0045] 计算当前帧图像相对初始帧图像的形变量,并与当前帧图像前 $n-1$ 帧图像分别相对初始帧图像的形变量求算术平均值,将算术平均值作为当前帧图像的平滑结果;其中, n 根据相机参数和处理器性能在50~100范围内取值。

[0046] 和现有技术相比,本发明具有如下优点和有益效果:

[0047] (1) 本发明在图像拍摄与处理、六自由度定位与跟踪上实现了自动化和便携化,通过单目视觉和靶标的先验信息,同时解决多自由度、实时性、便携性、遮挡敏感等技术问题,

实现了六自由度形变的在线监测。

[0048] (2) 在测量精度方面,本发明在X,Y轴方向上位移的测量误差绝对值不超过0.01mm;在Z轴方向上的位移的测量误差绝对值不超过0.1mm;绕X,Y轴旋转角的测量误差绝对值不超过 0.1° ;绕Z轴旋转角的测量误差绝对值不超过 0.002° 。

[0049] (3) 在实时性方面,本发明在通用计算机上处理速度可达到每秒25帧以上;在嵌入式平台上可达到每秒10帧以上。

[0050] (4) 在便携性方面,本发明基于ARM微处理器平台,可将系统制作成手持设备;

[0051] (5) 在遮挡敏感方面,本发明可根据圆形标记的灰度信息实时判别是否存在遮挡情况。

附图说明

[0052] 图1是本发明系统的具体结构示意图;

[0053] 图2是靶标绕Z轴旋转的示意图;

[0054] 图3是靶标绕X轴旋转的示意图;

[0055] 图4是靶标绕Y轴旋转的示意图;

[0056] 图5是图像分割效果图;

[0057] 图6为本发明方法的一种具体流程图。

[0058] 图中,1-靶标,2-圆形标记,3-CCD成像传感器,4-光阑,5-光学透镜组,6-滤光片,7-USB线缆,8-中央处理单元,9-LVDS信号接口,10-HDMI接口。

具体实施方式

[0059] 为了更清楚地说明本发明实施例和/或现有技术中的技术方案,下面将对照附图说明本发明的具体实施方式。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,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,并获得其他的实施方式。

[0060] 需要说明的是,本发明单目六自由度形变监测系统及方法,其中,单目指仅使用一个相机,六自由度则包括空间笛卡尔直角坐标系中X、Y、Z三轴方向上的位移、以及绕X、Y、Z三轴旋转的角度。

[0061] 见图1,所述单目六自由度形变监测系统包括靶标1、视觉采集单元、中央处理单元8和输出接口单元。所述靶标1上设有等大的若干圆形标记2,靶标1和标记2的表面色为灰度差异较大的两种颜色,以便于从靶标图像中提取出圆形标记。本具体实施方式中,所述靶标1为一矩形薄硬板,所述靶标1和所述圆形标记2的表面分别为黑色和白色。

[0062] 更具体的,所述靶标1平面上设有5对圆形标记对。第1对白色标记对位于靶标1中心,记为中央标记对,中央标记对中两圆形标记水平对齐。第2对白色标记对和第3对白色标记对分别位于靶标1的上侧和下侧,分别记为上标记对和下标记对,所述上标记对和所述下标记对关于所述中央标记对上下对称,且所述上标记对和所述下标记对中的两白色标记分别水平对齐。第4对白色标记对和第5对白色标记对分别位于靶标1的左侧和右侧,分别记为左标记对和右标记对,所述左标记对和所述右标记对关于所述中央标记对左右对称,且所述左标记对和所述右标记对中的两白色标记分别垂直对齐。监测工作开始时,靶标1固定于

待监测物体表面,若待监测物体产生形变,会带动靶标1上的圆形标记对在六个自由度上产生位移和/或旋转。

[0063] 所述视觉采集单元置于待监测物体的正前方,用来采集靶标1的视频流数据。视觉采集单元包括沿光路依次排列的CCD成像传感器3、光阑4、光学透镜组5、滤光片6。所述滤光片6用来滤除瑞利散射光和杂散光。所述光学透镜组5用于聚焦,其应根据实际布设现场,即测量距离、光照环境等选择合适的焦距和感光度。所述光阑4用于调整通光口径,从而间接调整成像质量。所述CCD成像传感器3用于将二维光学图像信号转化为一维视频信号输出。本具体实施方式中,所述CCD成像传感器3采用面阵图像传感器,所述滤光片6采用带宽为15nm的窄带滤光片。

[0064] 所述视觉采集单元所采集的视频流数据传输至所述中央处理单元8,本具体实施方式中,视频流数据通过USB线缆7传输至中央处理单元8,同时,也通过所述USB线缆7给所述CCD成像传感器3及其驱动电路供电。

[0065] 所述中央处理单元8用来对所述视频流数据进行图像处理,并通过所述输出接口单元输出处理结果。本具体实施方式中,所述中央处理单元8为基于ARM的微处理器,具体采用Tegra K1处理器,在中央处理单元8上搭建Linux+QT开发环境,交叉编译Qt/E和OpenCV。所述输出接口单元包括用于连接外部液晶触摸屏的LVDS信号接口9和/或连接外部显示器的HDMI接口10。

[0066] 图6所示为本发明单目六自由度形变监测方法的一种具体实施方式,包括对所述视频流数据进行如下处理:

[0067] S100框选中央标记对,所框选的帧图像记为初始帧图像,所框选的矩形区域记为框选区域,获取初始帧图像中靶标的位置信息,所述靶标的位置信息包括①中央标记对的轮廓及圆心位置、②中央标记对的像素圆心距和像素半径、③上标记对、下标记对、左标记对、右标记对的圆心位置。

[0068] 所述中央标记对的像素圆心距指中央标记对中两个圆形标记的像素圆心距;所述中央标记对的像素半径指中央标记对中两个圆形标记的像素半径。

[0069] 本步骤进一步包括:

[0070] S110人工框选出中央标记对,框选的帧图像记为初始帧图像,所框选的矩形区域记为框选区域。

[0071] S120对框选区域进行分割以区别中央标记对和背景,并提取中央标记对的轮廓及圆心位置。

[0072] 本步骤可采用基于标记的分水岭变换法实现,具体为:采用基于标记的分水岭变换法分割框选区域,并拟合出圆轮廓,从而获得中央标记对的轮廓及圆心位置。

[0073] 见图5,所示为基于标记的分水岭变换示意图,其中,图(a)为原始的框选区域,图(b)为框选区域分割后示意图。该方法能很好地根据标记分割图像的同质区域,且标记数决定最终得到的区域数。确定开窗区域之后,处理该区域图像。在假设相邻两帧时间间隔内物体运动造成的位移小于圆形标记的半径的前提下,标记旧帧圆心位置为标记a,则标记a必位于新帧圆内;标记矩形框整个边框为标记b,则标记b必不与圆相交。分水岭变换后,矩形框中将仅存在2个同质区域,其分界线为圆轮廓,为分割得到的前景图像。对椭圆轮廓拟合后,更新圆心与半径完成新帧的跟踪。

[0074] S130计算中央标记对的像素圆心距和像素半径。

[0075] S140按照上标记对、下标记对、左标记对、右标记对和中央标记对的先验位置关系,在初始帧图像中搜索上标记对、下标记对、左标记对和右标记对,获得所有标记对的圆心位置。

[0076] S200根据相邻帧图像中前帧图像的靶标位置信息,获取相邻帧图像中后帧图像的靶标位置信息。

[0077] 本步骤中,根据相邻两帧图像中中央标记对的圆心位置,计算中央标记对帧间的位移量,基于相邻两帧图像的时间间隔,计算中央标记对帧间位移的方向和速度;将该方向和速度用于下一相邻两帧图像中靶标位置信息的提取。所述相邻两帧图像中的后帧图像即所述下一相邻两帧图像中的前帧图像。

[0078] 基于上述,本步骤进一步包括:

[0079] S210获取相邻两帧图像中后帧图像的预估区域,具体为:

[0080] 若相邻两帧图像中前帧图像为初始帧图像,则后帧图像的预估区域为前帧图像的框选区域。若相邻两帧图像中前帧图像不为初始帧图像,则根据前帧图像的前一帧到前帧图像的时间间隔内,中央标记对作帧间位移的速度矢量,并结合前帧图像的预估区域,预估后帧图像的预估区域。

[0081] 所述中央标记对作帧间位移的速度矢量的计算为:

[0082] 根据相邻两帧图像中中央标记对的圆心位置,计算中央标记对帧间的位移矢量;根据相邻两帧图像的时间间隔和帧间的位移矢量,计算中央标记对帧间位移的速度矢量。

[0083] 中央标记对帧间位移的速度矢量 \vec{v} 的计算为:

$$[0084] \quad \vec{v} = fps \cdot (\overrightarrow{\Delta x_{n,n+1}} + \overrightarrow{\Delta y_{n,n+1}} + \overrightarrow{\Delta z_{n,n+1}}) \quad (1)$$

[0085] 式(1)中:

[0086] $\overrightarrow{\Delta x_{n,n+1}}$ 为相邻两帧图像中中央标记对的实际水平位移矢量;

[0087] $\overrightarrow{\Delta y_{n,n+1}}$ 为相邻两帧图像中中央标记对的实际垂直位移矢量;

[0088] $\overrightarrow{\Delta z_{n,n+1}}$ 为相邻两帧图像中中央标记对的实际光轴方向位移矢量;

[0089] fps表示相邻两帧图像的时间间隔的倒数。

[0090] 待监测物体的形变具有一定的方向性和连续性,因此,可通过分析相邻两帧图像,计算中央标记对帧间位移的速度矢量,即靶标帧间位移的速度矢量,从而预测形变趋势。根据形变趋势可预估下一帧图像中靶标所在的大概区域,并对该大概区域单独开窗搜索中央标记对轮廓。在图像分辨率较高的情况下,开窗搜索可以减少计算量,提高搜索效率。

[0091] S220对后帧图像的预估区域进行分割,提取中央标记对的轮廓及圆心位置,并计算靶标的位置信息。具体可采用基于标记的分水岭变换法实现分割。

[0092] S300根据各帧图像和初始帧图像的靶标位置信息,计算各帧图像相对初始帧图像的形变量,所述形变量包括3个位移量(Δx , Δy , Δz)和3个旋转角(α , β , γ),可实现空间6个自由度复杂姿态的解算。

[0093] 下面将对形变量的计算原理进行说明。

[0094] (1)中央标记对的实际水平位移量 Δx 和实际垂直位移量 Δy 的计算。

[0095] 当靶标在垂直于光轴平面内移动时,可采用中央标记对的位移量表征靶标的整体位移。根据几何相似法,因为中央标记对的位移量和中央标记对的像素圆心距的成像比例相同,所以,可根据中央标记对像素圆心距的先验信息计算靶标在平面内的位移量,如下:

$$[0096] \quad \begin{cases} k = \frac{D}{D_p} \\ \Delta x = k \cdot \Delta x_p \\ \Delta y = k \cdot \Delta y_p \end{cases} \quad (2)$$

[0097] 式(2)中:

[0098] k 为成像比例; D 为中央标记对的实际圆心距, D 为先验信息; D_p 为初始帧图像中中央标记对的像素圆心距;

[0099] Δx 为当前帧图像相对于初始帧图像的中央标记对的实际水平位移量; Δx_p 为当前帧图像相对于初始帧图像的中央标记对的像素水平位移量;

[0100] Δy 为当前帧图像相对于初始帧图像的中央标记对的实际垂直位移量; Δy_p 为当前帧图像相对于初始帧图像的中央标记对的像素垂直位移量。

[0101] 这里,中央标记对的像素水平位移量和像素垂直位移量指中央标记对的圆心连线中点的水平位移量和像素垂直位移量。

[0102] (2)中央标记对的光轴方向的实际位移量 Δz 的计算。

[0103] 通过跟踪中央标记对计算实际物距 u ,结合高斯成像原理和三角形相似定理,有:

$$[0104] \quad \begin{cases} u = f \cdot \left(1 + \frac{D}{d}\right) \\ d = m \cdot n \end{cases} \quad (3)$$

[0105] 式(3)中:

[0106] u 为实际物距,即待监测物体到光学透镜组光心的距离;

[0107] f 为光学透镜组的焦距;

[0108] D 为当前帧图像中中央标记对的实际圆心距;

[0109] d 为当前帧图像中中央标记对圆心距的成像大小;

[0110] m 为像元尺寸,为CCD传感器的常数参量;

[0111] n 为成像的像素数。

[0112] 利用物距计算中央标记对在 Z 轴方向的实际位移量 Δz ,即当前帧图像中靶标在 Z 轴方向的实际位移量:

$$[0113] \quad \Delta z = u - u_0 \quad (4)$$

[0114] 式(4)中: u_0 为初始帧图像的物距; u 为当前帧图像的物距。

[0115] (3)靶标绕 Z 轴的旋转角 γ 的计算。

[0116] 见图2,所示为靶标绕 Z 轴旋转的示意图。其中, Z 轴与光轴重合,绕 Z 轴旋转即在垂直于光轴的平面内绕中央标记对旋转。 Δy_l 记为左标记对的实际垂直位移量, Δy_r 记为右标记对的实际垂直位移量,这里垂直位移量均指当前帧图像相对初始帧图像的位移量。左标记对和右标记对的距离已知,本具体实施方式中,左标记对和右标记对的距离为 $5D$ 。所以,靶标绕 Z 轴的旋转角 γ 为:

$$[0117] \quad \gamma = \sin^{-1} \frac{\Delta y_l + \Delta y_r}{5D} \quad (5)$$

[0118] (4) 靶标绕X轴的旋转角 α 的计算。

[0119] 见图3,所示为靶标绕X轴旋转的示意图。靶标绕X轴旋转时,可以根据上标记对和下标记对的像素圆心距计算靶标绕X轴的旋转角。 Δz_t 和 Δz_b 分别记为上标记对和下标记对在Z轴上的实际位移量,上标记对和下标记对间距离已知,为 $5D$,求得靶标绕X轴的旋转角 α 为:

$$[0120] \quad \alpha = \sin^{-1} \frac{\Delta z_t + \Delta z_b}{5D} = \sin^{-1} \frac{u_t + u_b - 2u_0}{5D} = \sin^{-1} \frac{f \cdot (\frac{1}{d_t} + \frac{1}{d_b} - \frac{2}{d_0})}{5} \quad (6)$$

[0121] 式(6)中, u_t 、 u_b 、 u_0 分别为上标记对、下标记对和中央标记对的实际物距; d_t 、 d_b 、 d_0 分别为当前帧图像中上标记对、下标记对和中央标记对的像素圆心距。

[0122] (5) 靶标绕Y轴的旋转角 β 的计算。

[0123] 见图4,所示为靶标绕Y轴旋转的示意图。靶标绕Y轴旋转式,同理,可以根据左标记对和右标记对的像素圆心距计算靶标绕Y轴的旋转角。可求得靶标绕Y轴的旋转角 β 为:

$$[0124] \quad \beta = \sin^{-1} \frac{\Delta z_l + \Delta z_r}{5D} = \sin^{-1} \frac{u_l + u_r - 2u_0}{5D} = \sin^{-1} \frac{f \cdot (\frac{1}{d_l} + \frac{1}{d_r} - \frac{2}{d_0})}{5} \quad (7)$$

[0125] 式(7)中, Δz_l 和 Δz_r 分别为左标记对和右标记对在Z轴上的位移量; u_l 和 u_r 分别为左标记对和右标记对的实际物距; d_l 和 d_r 分别为当前帧图像中左标记对和右标记对的像素圆心距。

[0126] 以单目视觉为测量手段的系统往往需要良好的通视条件,遮挡物的存在会对测量效果产生一定的影像。如果没有相应的遮挡判别方法,甚至会产生错误的测量结果。因此,本发明还提供了一种方案,包括遮挡判断以及丢弃受遮挡影响的帧图像,以避免产生错误结果的产生。该方法具体为:对各帧图像中所有圆形标记,分别计算其轮廓内的像素面积、像素灰度平均值和轮廓长短轴比三要素,将各帧图像的三要素值分别与其前帧图像的三要素值作差,一旦有圆形标记的某一三要素值的差值超过该要素对应的预设阈值,则判断被遮挡物,则弃该帧图像。

[0127] 为提高监测结果的稳定性,避免因空气抖动、热噪声等引起的测量误差,本发明还提出了一种优选方案,包括对第 n 帧及以后的帧图像形变量的平滑处理步骤。具体为:计算当前图像相对初始帧图像的形变量,并与当前帧图像前 $n-1$ 帧图像分别相对初始帧图像的形变量求算术平均值,将算术平均值作为当前帧图像的平滑结果; n 根据处理器性能在 $50 \sim 100$ 范围内取值。

[0128] 本发明设计的一种由光、机、电、算设备一体化组成的软硬件兼备的单目六自由度形变监测系统,为桥梁、大坝、边坡等现代建筑和自然地形的形变提供了一种新型的在线监测方式。其设计了包含5对圆形标记对的靶标,通过跟踪圆形标记来计算空间三轴的位移量和旋转角。在数据处理方面,通过靶标作帧间运动的速度和方向来预估其下一帧中央标记对所在的区域;通过分水岭算法在开窗区域提取圆形标记的轮廓,并进行遮挡判别,避免产生错误测量结果。本方法在图像拍摄与处理、靶标定位与跟踪上实现了自动化和便携化,通

过单目视觉和靶标的先验信息,同时解决多自由度、实时性、便携性、遮挡敏感等技术问题。

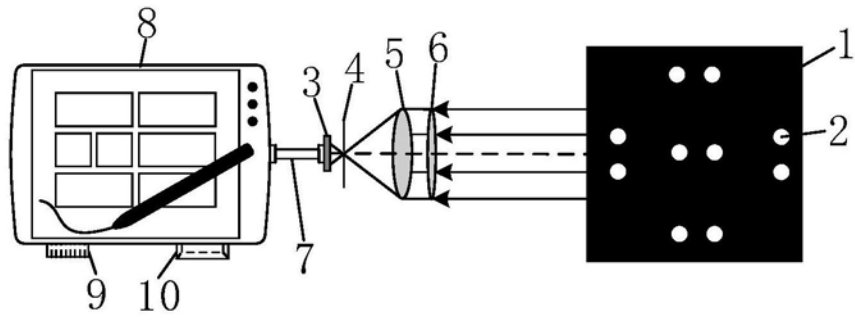


图1

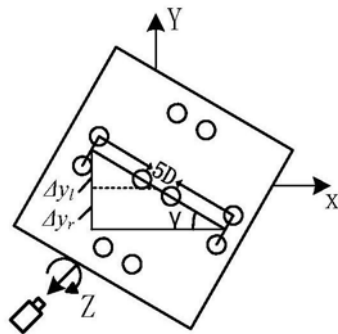


图2

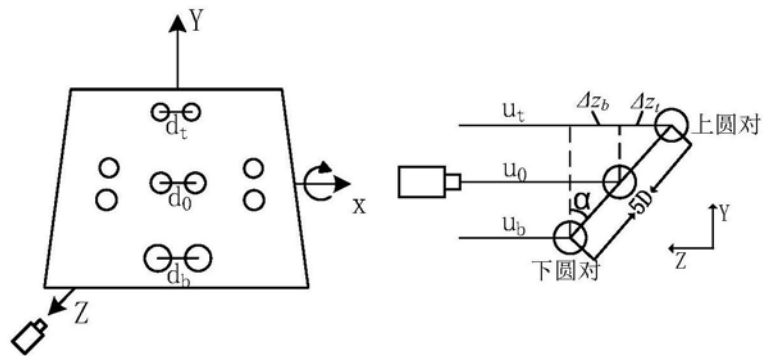


图3

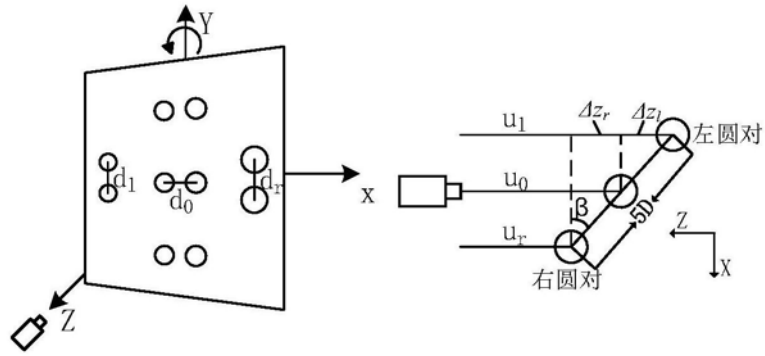


图4

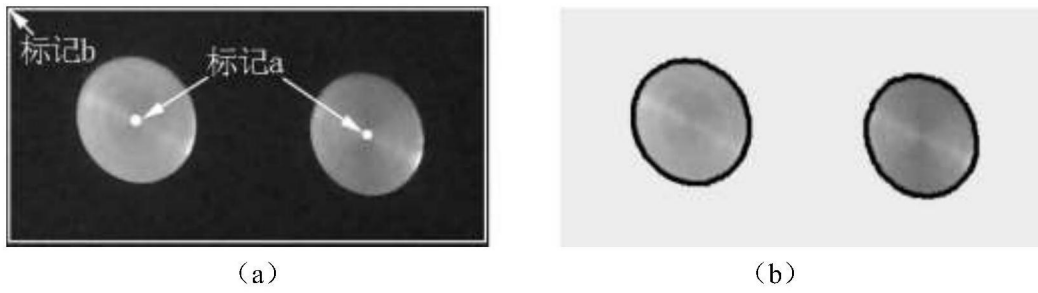


图5

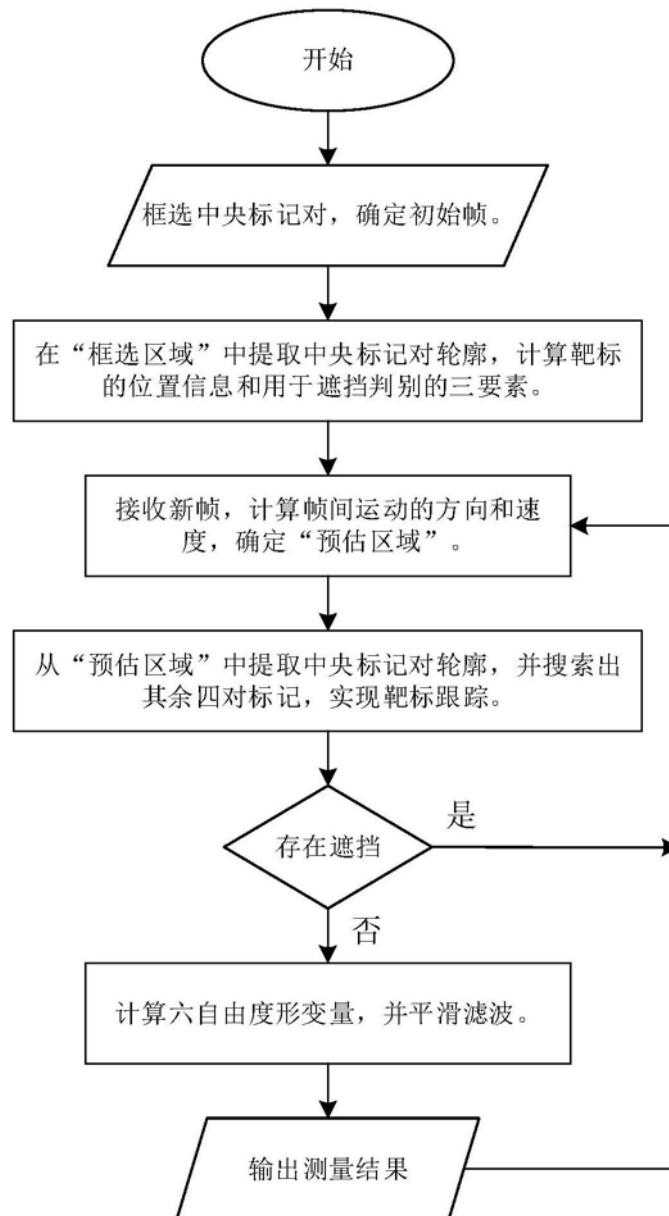


图6