



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106482648 A

(43)申请公布日 2017. 03. 08

(21)申请号 201611055074.0

(22)申请日 2016.11.25

(71)申请人 广州昱正信息科技有限公司

地址 510000 广东省广州市海珠区新港东
路2433号启盛会展产业园1007单元

(72)发明人 浣石 于起峰 陶为俊

(74)专利代理机构 北京市盈科律师事务所
11344

代理人 马丽丽 江锦利

(51)Int.Cl.

G01B 11/02(2006.01)

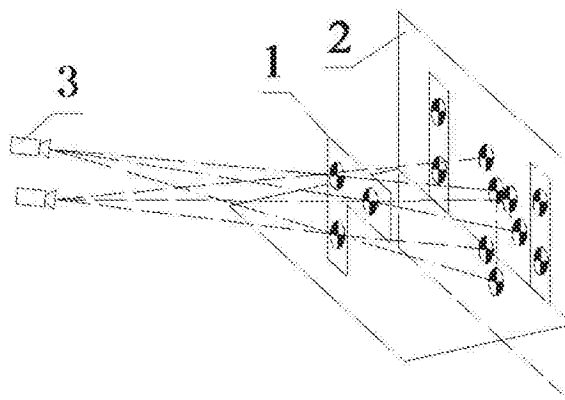
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

基于不动点的远距离面内小位移绝对监测
装置及方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置及方法,装置包括图像采集系统、图像分析系统和不动点标志;图像采集系统安装在被测物体的待测点位置;不动点标志包括前后放置的第一标志牌和第二标志牌;第一标志牌和第二标志牌所在的平面相互平行;图像采集系统包括摄像机,摄像机对第一标志牌和第二标志牌进行图像采集,并输入至图像分析系统,图像分析系统根据第一标志牌在第二标志牌上的投影图像的变化确定摄像机的移动,以监测被测物体的移动。本发明可使得测量结果不依赖于摄像机的光轴系统,对于工程长期监测中温度的影响、更换设备、焦距调整等都不会影响测量结果,提高了测量的准确性及精度,极大的满足了工程实际需要。



1. 一种基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置, 其特征在于, 包括图像采集系统、图像分析系统和不动点标志; 图像采集系统安装在被测物体的待测点位置; 不动点标志包括前后放置的第一标志牌和第二标志牌两个标志牌; 第一标志牌上面具有三个标志点, 标志点为对角形状, 呈直角三角形分布; 第二标志牌上面具有四个标志点, 标志点为对角形状, 呈矩形分布; 第一标志牌和第二标志牌所在的平面相互平行; 所述图像采集系统包括摄像机, 所述摄像机对第一标志牌和第二标志牌进行图像采集, 并输入至所述图像分析系统; 所述图像分析系统根据第一标志牌在第二标志牌上的投影图像的变化确定摄像机的移动, 以监测被测物体的移动。

2. 根据权利要求1所述的基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置, 其特征在于, 第一标志牌上的三个标志点刻在第一标志牌上, 第二标志牌上的四个标志点刻在第二标志牌上。

3. 根据权利要求2所述的基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置, 其特征在于, 第一标志牌处于同一水平线上的两个标志点的水平间距小于第二标志牌上与之对应的两个标志点的水平间距。

4. 一种基于不动点的远距离面内小位移绝对监测方法, 采用权利要求3所述的基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置实现, 其特征在于, 包括以下步骤:

A1、通过摄像机采集两个标志牌的图像;

标志牌的标志点的像素坐标为 $(X_{i,j}, Y_{i,j})$, i 表示标志牌编号, j 表示标志牌上从左下角按照逆时针方向的标志点编号;

A2、以标志牌平面的法向为 z 轴, 水平方向为 x 轴, 竖向为 y 轴, 建立直角坐标系;

标志牌上的标志点用 pt_{ij} 来表示, i 表示标志牌编号, j 表示标志牌上从左下角按照逆时针方向的标志点编号; 标志点 pt_{12} 和 pt_{13} 的水平间距为 H_{1x} , 竖向间距为 H_{1y} ; 标志点 pt_{21} 和 pt_{22} 的水平间距为 H_{2x} , 标志点 pt_{31} 和 pt_{32} 的竖向间距 H_{2y} ; 其中 $H_{2x} > H_{1x}$; 标志点的平面坐标为 $(x_{i,j}, y_{i,j})$;

A3、被测物体未发生移动前, 根据Lagrange插值多项式计算得到第一标志牌上的标志点在第二标志牌上的投影坐标:

$$x_{1,j} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(X_{1,j} - X_{2,n})}{(X_{2,m} - X_{2,n})} \right) x_{2,m}$$

$$y_{1,j} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(Y_{1,j} - Y_{2,n})}{(Y_{2,m} - Y_{2,n})} \right) y_{2,m}$$

标志点 pt_{13} 和 pt_{11} 在第二标志牌上的投影距离为:

$$H_{4y} = \sqrt{(x_{1,1} - x_{1,3})^2 + (y_{1,1} - y_{1,3})^2}$$

根据几何关系有:

$$\frac{H_{1y}}{H_{4y}} = \frac{L_1}{L_1 + L_2}$$

其中 L_1 为摄像机到第一标志牌的距离, L_2 为两个标志牌的距离;由于 L_2 、 H_{1y} 、以及 H_{4y} 已知,因此可以计算出 L_1 ;

A4、被测物体发生移动后,根据Lagrange插值多项式计算得到第一标志牌上的标志点在第二标志牌上的投影坐标:

$$x_{1,j}^{(k)} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(X_{1,j}^{(k)} - X_{2,n}^{(k)})}{(X_{2,m}^{(k)} - X_{2,n}^{(k)})} \right) x_{2,m}$$

$$y_{1,j}^{(k)} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(Y_{1,j}^{(k)} - Y_{2,n}^{(k)})}{(Y_{2,m}^{(k)} - Y_{2,n}^{(k)})} \right) y_{2,m}$$

更新后的位移变化量为: $\Delta h_x^{(k)} = x_{1,j}^{(k)} - x_{1,j}$, $\Delta h_y^{(k)} = y_{1,j}^{(k)} - y_{1,j}$

由于所测量是小位移,因此根据几何关系近似有:

$$\frac{\Delta x_c^{(k)}}{\Delta h_x^{(k)}} = \frac{L_1}{L_2}$$

$$\frac{\Delta y_c^{(k)}}{\Delta h_y^{(k)}} = \frac{L_1}{L_2}$$

其中 $\Delta x_c^{(k)}$ 、 $\Delta y_c^{(k)}$ 为摄像机第 k 次测量所得到的水平和竖向位移变化量。

5. 根据权利要求4所述的基于不动点的远距离面内小位移绝对监测方法,其特征在于,还包括以下步骤:

A5、基于像素定位精度进行精度分析;

采用亚像素定位,即定位精度至少可以达到0.1个像素,则 $\Delta X_{1,j}^{(k)} = 0.1$, $\Delta Y_{1,j}^{(k)} = 0.1$,则根据推导得到以下误差分析公式:

$$dx_c^{(k)} = \frac{L_1}{L_2} \left(\sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{\Delta X_{1,j}^{(k)}}{(X_{2,m}^{(k)} - X_{2,n}^{(k)})} \right) x_{2,m} - 1 \right)$$

$$dy_c^{(k)} = \frac{L_1}{L_2} \left(\sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{\Delta Y_{1,j}^{(k)}}{(Y_{2,m}^{(k)} - Y_{2,n}^{(k)})} \right) y_{2,m} - 1 \right)$$

其中 $dx_c^{(k)}$ 和 $dy_c^{(k)}$ 分别表示水平和竖向的测量误差。

基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及小位移监测技术领域,具体涉及一种基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置及方法。

背景技术

[0002] 随着各种大型建筑结构、体育场馆、高速铁路、高边坡等工程的不断增加,不同载荷作用下的结构损伤以及破坏的几率不断增大。一旦发生构件等破坏,严重的将会带来结构的垮塌,造成人员、财产的重大损失。近几十年来,我国发生过多起房屋、桥梁垮塌、地铁施工过程中的基坑垮塌、体育场馆倒塌等事故,研究表明:绝大多数结构的垮塌很多是由于长期使用过程中结构的不断老化、损伤、疲劳以及结构载荷过大造成的,其在垮塌前就会出现较大的变形,这个变形是长期累积的过程,并不是突然性的垮塌。如果能够实时的对结构进行变形监测,对其健康状态进行一个基本的评估,可以避免很多类似事故的发生。

[0003] 结构的变形监测有很多种,大部分是基于人工的一种测量方法,尽管这些方法精度能够满足工程需要,但是长期的人工监测不仅需要大量的人力、财力,还需要有一定的技术人员才能完成。并且测量的周期非常的长,当结构载荷突然增大或者偏心载荷过大等情况出现时,就难以满足工程需要。

[0004] 数字图像测量方法是一种基于图像处理的新方法,现已发展较为成熟,并得到了广泛的应用。但是现有的基于数字图像的测量方法仍然存在一定的问题,例如在实际工程中,所应用的摄像机光轴会随着温度的变化而发生微小的变形,而微小的变形在远距离外所产生的位移是非常大的,这就引入了较大的位移误差;并且长期使用由于设备老化、损坏等情况需要更换设备,更换后不能保证更换前后状态一致,也就是说难以将新设备的光轴与之前对齐,这些都是基于数字图像方法在长期监测中出现的较为明显的问题。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提出一种基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置及方法,使得测量结果不依赖于摄像机的光轴系统,以提高测量的准确性及精度。

[0006] 为了实现以上目的,本发明提出的一种基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置,包括图像采集系统、图像分析系统和不动点标志;图像采集系统安装在被测物体的待测点位置;不动点标志包括前后放置的第一标志牌和第二标志牌两个标志牌;第一标志牌上面具有三个标志点,标志点为对角形状,呈直角三角形分布;第二标志牌上面具有四个标志点,标志点为对角形状,呈矩形分布;第一标志牌和第二标志牌所在的平面相互平行;所述图像采集系统包括摄像机,所述摄像机对第一标志牌和第二标志牌进行图像采集,并输入至所述图像分析系统;所述图像分析系统根据第一标志牌在第二标志牌上的投影图像的变化确定摄像机的移动,以监测被测物体的移动。

[0007] 本发明的进一步方案中,第一标志牌上的三个标志点刻在第一标志牌上,第二标志牌上的四个标志点刻在第二标志牌上。

[0008] 本发明的进一步方案中,第一标志牌处于同一水平线上的两个标志点的水平间距小于第二标志牌上与之对应的两个标志点的水平间距。

[0009] 本发明相应提出的一种基于不动点的远距离面内小位移绝对监测方法,采用上述基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置实现,包括以下步骤:

[0010] A1、通过摄像机采集两个标志牌的图像;

[0011] 标志牌的标志点的像素坐标为 $(X_{i,j}, Y_{i,j})$, i 表示标志牌编号, j 表示标志牌上从左下角按照逆时针方向的标志点编号;

[0012] A2、以标志牌平面的法向为 z 轴,水平方向为 x 轴,竖向为 y 轴,建立直角坐标系;

[0013] 标志牌上的标志点用 pt_{ij} 来表示, i 表示标志牌编号, j 表示标志牌上从左下角按照逆时针方向的标志点编号;标志点 pt_{12} 和 pt_{13} 的水平间距为 H_{1x} , 竖向间距为 H_{1y} ;标志点 pt_{21} 和 pt_{22} 的水平间距为 H_{2x} , 标志点 pt_{31} 和 pt_{32} 的竖向间距 H_{2y} ; 其中 $H_{2x} > H_{1x}$; 标志点的平面坐标为 $(x_{i,j}, y_{i,j})$;

[0014] A3、被测物体未发生移动前,根据Lagrange插值多项式计算得到第一标志牌上的标志点在第二标志牌上的投影坐标:

$$[0015] \quad x_{1,j} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(X_{1,j} - X_{2,n})}{(X_{2,m} - X_{2,n})} \right) x_{2,m}$$

$$[0016] \quad y_{1,j} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(Y_{1,j} - Y_{2,n})}{(Y_{2,m} - Y_{2,n})} \right) y_{2,m}$$

[0017] 标志点 pt_{13} 和 pt_{11} 在第二标志牌上的投影距离为:

$$[0018] \quad H_{4y} = \sqrt{(x_{1,1} - x_{1,3})^2 + (y_{1,1} - y_{1,3})^2}$$

[0019] 根据几何关系有:

$$[0020] \quad \frac{H_{1y}}{H_{4y}} = \frac{L_1}{L_1 + L_2}$$

[0021] 其中 L_1 为摄像机到第一标志牌的距离, L_2 为两个标志牌的距离; 由于 L_2 、 H_{1y} 、以及 H_{4y} 已知, 因此可以计算出 L_1 ;

[0022] A4、被测物体发生移动后,根据Lagrange插值多项式计算得到第一标志牌上的标志点在第二标志牌上的投影坐标:

$$[0023] \quad x_{1,j}^{(k)} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(X_{1,j}^{(k)} - X_{2,n}^{(k)})}{(X_{2,m}^{(k)} - X_{2,n}^{(k)})} \right) x_{2,m}$$

$$[0024] \quad y_{1,j}^{(k)} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(Y_{1,j}^{(k)} - Y_{2,n}^{(k)})}{(Y_{2,m}^{(k)} - Y_{2,n}^{(k)})} \right) y_{2,m}$$

[0025] 更新后的位移变化量为: $\Delta h_x^{(k)} = x_{1,j}^{(k)} - x_{1,j}$, $\Delta h_y^{(k)} = y_{1,j}^{(k)} - y_{1,j}$

[0026] 由于所测量是小位移,因此根据几何关系近似有:

$$[0027] \quad \frac{\Delta x_c^{(k)}}{\Delta h_x^{(k)}} = \frac{L_1}{L_2}$$

$$[0028] \quad \frac{\Delta y_c^{(k)}}{\Delta h_y^{(k)}} = \frac{L_1}{L_2}$$

[0029] 其中 $\Delta x_c^{(k)}$ 、 $\Delta y_c^{(k)}$ 为摄像机第k次测量所得到的水平和竖向位移变化量。

[0030] 本发明的进一步方案中,还包括以下步骤:

[0031] A5、基于像素定位精度进行精度分析;

[0032] 采用亚像素定位,即定位精度至少可以达到0.1个像素,则 $\Delta X_{1,j}^{(k)} = 0.1$, $\Delta Y_{1,j}^{(k)} = 0.1$, 则根据推导得到以下误差分析公式:

$$[0033] \quad dx_c^{(k)} = \frac{L_1}{L_2} \left(\sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{\Delta X_{1,j}^{(k)}}{(X_{2,m}^{(k)} - X_{2,n}^{(k)})} \right) x_{2,m} - 1 \right)$$

$$[0034] \quad dy_c^{(k)} = \frac{L_1}{L_2} \left(\sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{\Delta Y_{1,j}^{(k)}}{(Y_{2,m}^{(k)} - Y_{2,n}^{(k)})} \right) y_{2,m} - 1 \right)$$

[0035] 其中 $dx_c^{(k)}$ 和 $dy_c^{(k)}$ 分别表示水平和竖向的测量误差。

[0036] 有益效果:本发明可使得测量结果不依赖于摄像机的光轴系统,对于工程长期监测中温度的影响、更换设备、焦距调整等都不会影响测量结果,提高了测量的准确性及精度,极大的满足了工程实际需要。

附图说明

[0037] 图1是实施例中不动点标志结构示意图。

[0038] 图2是对图1进行测量的原理图。

[0039] 图3是被测物体发生移动后图2中摄像机相应出现移动的示意图。

[0040] 图中:1—第一标志牌,2—第二标志牌,3—摄像机。

具体实施方式

[0041] 为了便于本领域技术人员理解,下面将结合附图以及实施例对本发明进行进一步描述。

[0042] 实施例提出的一种基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置及方法请参阅图1至图3。

[0043] 一、监测装置

[0044] 实施例提出的基于不动点的远距离面内小位移绝对监测装置包括图像采集系统、图像分析系统和不动点标志;图像采集系统安装在被测物体的待测点位置;不动点标志包括前后放置的第一标志牌1和第二标志牌2两个标志牌;第一标志牌1上面刻有三个标志点,

标志点为对角形状,呈直角三角形分布;第二标志牌2上面刻有四个标志点,标志点为对角形状,呈矩形分布;第一标志牌1和第二标志牌2所在的平面相互平行;所述图像采集系统包括摄像机3,所述摄像机3对第一标志牌1和第二标志牌2进行图像采集,并输入至所述图像分析系统;所述图像分析系统根据第一标志牌1在第二标志牌2上的投影图像的变化确定摄像机3的移动,以监测被测物体的移动。

[0045] 此外,第一标志牌1处于同一水平线上的两个标志点的水平间距小于第二标志牌2上与之对应的两个标志点的水平间距。

[0046] 具体的,如图1所示:标志牌上的标志点用 pt_{ij} 来表示, i 表示标志牌编号, j 表示标志牌上从左下角按照逆时针方向的标志点编号;标志点 pt_{12} 和 pt_{13} 的水平间距为 H_{1x} ,竖向间距为 H_{1y} ;标志点 pt_{21} 和 pt_{22} 的水平间距为 H_{2x} ,标志点 pt_{31} 和 pt_{32} 的竖向间距 H_{2y} ;其中 $H_{2x} > H_{1x}$;

[0047] 二、监测方法

[0048] 同样参阅图1和图2,实施例相应提出的基于不动点的远距离面内小位移绝对监测方法主要介绍数据运算及精度分析两部分。监测原理是:根据数字图像测量原理,当被测物体发生移动时,其采集到的图像中两个标志牌上的各个标志点之间的相互位置就会发生变化,由于距离较远,在垂直于标志牌平面的方向上(即Z轴方向)运动是非常不敏感的,因此可以忽略此方向上的位移所产生的影响,使得测量结果不依赖摄像机的光轴系统,以提高测量的准确性及精度。

[0049] 1、数据运算,具体包括以下步骤A1至A4:

[0050] A1、通过摄像机采集两个标志牌的图像;

[0051] 如图2所示,当装置安装完成后,可以通过摄像机3拍摄到两个标志牌的图像。标志点的像素坐标为 $(X_{i,j}, Y_{i,j})$, i 表示标志牌编号, j 表示标志牌上从左下角按照逆时针方向的标志点编号;则第一标志牌的三个标志点的像素坐标分别为: $(X_{1,1}, Y_{1,1})$, $(X_{1,2}, Y_{1,2})$, $(X_{1,3}, Y_{1,3})$;第二标志牌的四个标志点的像素坐标分别为: $(X_{2,1}, Y_{2,1})$, $(X_{2,2}, Y_{2,2})$, $(X_{2,3}, Y_{2,3})$, $(X_{2,4}, Y_{2,4})$;

[0052] A2、以标志牌平面的法向为z轴,水平方向为x轴,竖向为y轴,建立直角坐标系;

[0053] 标志点的平面坐标为 $(x_{i,j}, y_{i,j})$, i 表示标志牌编号, j 表示标志牌上从左下角按照逆时针方向的标志点编号;

[0054] A3、被测物体未发生移动前,根据Lagrange插值多项式可以计算得到第一标志牌上的标志点在第二标志牌上的投影坐标:

$$[0055] \quad x_{1,j} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(X_{1,j} - X_{2,n})}{(X_{2,m} - X_{2,n})} \right) x_{2,m}$$

$$[0056] \quad y_{1,j} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(Y_{1,j} - Y_{2,n})}{(Y_{2,m} - Y_{2,n})} \right) y_{2,m}$$

[0057] 标志点 pt_{13} 和 pt_{11} 在第二标志牌上的投影距离为:

$$[0058] \quad H_{4y} = \sqrt{(x_{1,1} - x_{1,3})^2 + (y_{1,1} - y_{1,3})^2}$$

[0059] 根据几何关系有：

$$[0060] \quad \frac{H_{1y}}{H_{4y}} = \frac{L_1}{L_1 + L_2}$$

[0061] 其中 L_1 为摄像机到第一标志牌的距离, L_2 为两个标志牌的距离;由于 L_2 、 H_{1y} 、以及 H_{4y} 已知,因此可以计算出 L_1 ;

[0062] A4、被测物体发生移动后,即摄像机3发生了平动或者转动,如图3所示;由于该方法不依赖于光轴的变化,因此成像系统只记录了平动位移的情况;根据Lagrange插值多项式可以计算得到第一标志牌上的标志点在第二标志牌上的投影坐标:

$$[0063] \quad x_{1,j}^{(k)} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(X_{1,j}^{(k)} - X_{2,n}^{(k)})}{(X_{2,m}^{(k)} - X_{2,n}^{(k)})} \right) x_{2,m}$$

$$[0064] \quad y_{1,j}^{(k)} = \sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{(Y_{1,j}^{(k)} - Y_{2,n}^{(k)})}{(Y_{2,m}^{(k)} - Y_{2,n}^{(k)})} \right) y_{2,m}$$

[0065] 更新后的位移变化量为: $\Delta h_x^{(k)} = x_{1,j}^{(k)} - x_{1,j}$, $\Delta h_y^{(k)} = y_{1,j}^{(k)} - y_{1,j}$

[0066] 由于所测量是小位移,因此根据几何关系近似有:

$$[0067] \quad \frac{\Delta x_c^{(k)}}{\Delta h_x^{(k)}} = \frac{L_1}{L_2}$$

$$[0068] \quad \frac{\Delta y_c^{(k)}}{\Delta h_y^{(k)}} = \frac{L_1}{L_2}$$

[0069] 其中 $\Delta x_c^{(k)}$ 、 $\Delta y_c^{(k)}$ 为摄像机第 k 次测量所得到的水平和竖向位移变化量(相对应初始位置来说)。

[0070] 2、精度分析,具体包括以下步骤A5:

[0071] A5、基于像素定位精度进行精度分析;

[0072] 采用亚像素定位,即定位精度至少可以达到0.1个像素,则 $\Delta X_{1,j}^{(k)} = 0.1$, $\Delta Y_{1,j}^{(k)} = 0.1$,则根据推导得到以下误差分析公式:

$$[0073] \quad dx_c^{(k)} = \frac{L_1}{L_2} \left(\sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{\Delta X_{1,j}^{(k)}}{(X_{2,m}^{(k)} - X_{2,n}^{(k)})} \right) x_{2,m} - 1 \right)$$

$$[0074] \quad dy_c^{(k)} = \frac{L_1}{L_2} \left(\sum_{m=1}^4 \left(\prod_{\substack{n=1 \\ m \neq n}}^4 \frac{\Delta Y_{1,j}^{(k)}}{(Y_{2,m}^{(k)} - Y_{2,n}^{(k)})} \right) y_{2,m} - 1 \right)$$

[0075] 其中 $dx_c^{(k)}$ 和 $dy_c^{(k)}$ 分别表示水平和竖向的测量误差。

[0076] 例如,第一标志牌1和第二标志牌2之间的距离为 $L_2 = 10$ 厘米。标志点之间的距离

参数 $H_{1x}=20\text{mm}$, $H_{1y}=20\text{mm}$, $H_{2x}=30\text{mm}$, $H_{2y}=30\text{mm}$, 则根据上述公式计算在水平和竖向可以达到 0.02mm 的计算精度。可见通过本实施例建立的基于不动点的远距离面内小位移绝对测量能够满足工程精度需要。

[0077] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式, 其描述较为具体和详细, 但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是, 对于本领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明构思的前提下, 还可以做出若干变形和改进, 这些都属于本发明的保护范围。因此, 本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

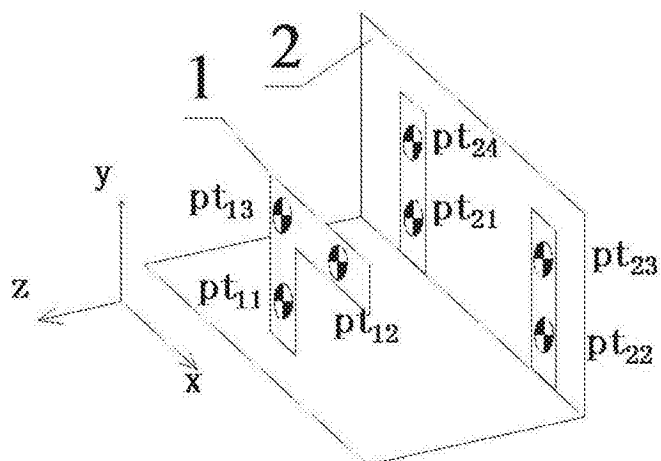


图1

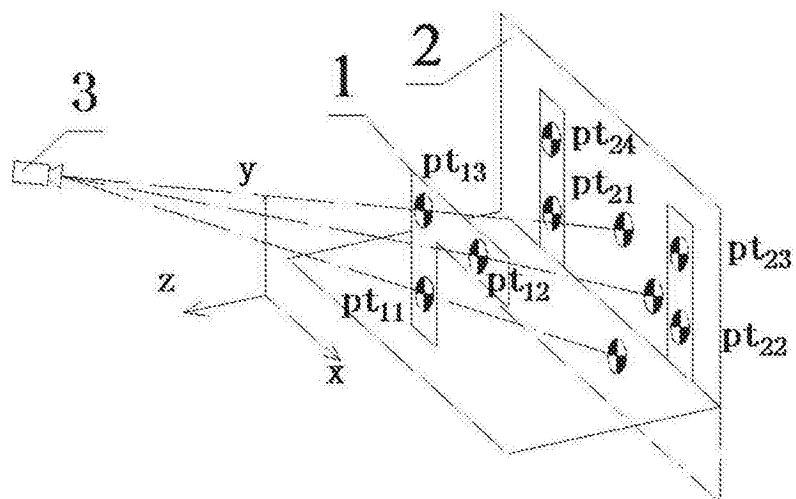


图2

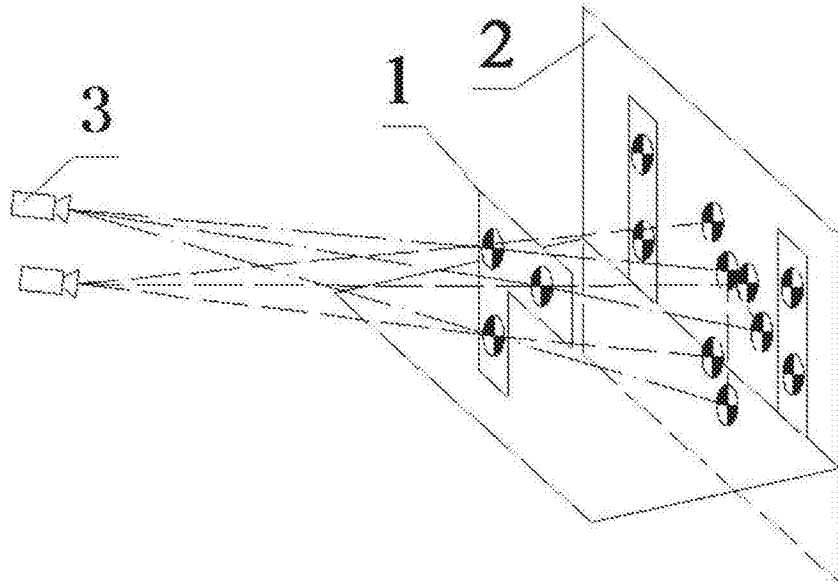


图3