



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104316024 A

(43) 申请公布日 2015. 01. 28

(21) 申请号 201410526902. 9

(22) 申请日 2014. 10. 09

(71) 申请人 中国人民解放军国防科学技术大学
地址 410073 湖南省长沙市砚瓦池正街 47 号

(72) 发明人 尚洋 关棒磊 王刚

(74) 专利代理机构 湖南省国防科技工业局专利中心 43102

代理人 冯青

(51) Int. Cl.

G01C 5/00(2006. 01)

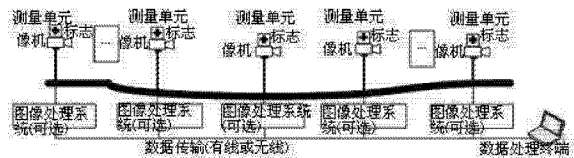
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种监测多点沉降的极简串联像机链测量方法与系统

(57) 摘要

本发明涉及一种极简串联像机链自动监测方法与系统。该系统由多个测量单元串联而成，每个测量单元由像机和与之固连的合作标志组成。在沿线区域每个需要测量的位置布设测量单元，将各个沉降待测点与若干沉降已知的控制点联系起来，测量过程中要求像机同时对左侧或右侧两个合作标志成像，通过测量单元中像机与标志的固连约束和相邻像机对各同名标志成像的几何约束关系，将各标志的沉降量、各像机的俯仰角直接解算出来。本方法只需要像机与单个标志点固连，并且二者间的关系不需要标定，避免了进行多头像机间或像机与固连的多控制点标志体间相对关系精确标定的复杂工作。本方法可用于路基、桥梁等的沉降自动监测，具有重要的理论研究意义和广泛的应用前景。



1. 一种监测多点沉降的极简串联像机链测量系统,包括 n 个测量单元,其特征在于,在沿线区域 n 个测量单元串联,在沿线区域每个需要测量的位置布设测量单元,将测量单元的沉降量与若干沉降量已知的控制点联系起来,各个测量单元通过有线或无线数据传输与数据处理终端连接;测量过程中像机同时对左侧或右侧两个标志成像,通过测量单元中像机与标志的固连约束和相邻像机对各同名标志成像的几何约束关系,将各标志的沉降量、各像机的俯仰角直接解算出来;

所述测量单元由一台像机和一个标志固联组成;

所述测量单元为 m 个,标志也为 m 个;

所述控制点 $m \geq 1$ 为标志 m 的一部分,即 $m > m \geq 1$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的一种监测多点沉降的极简串联像机链测量系统,其特征在于,所述标志为计算机识别的标记点组成,可以路基、铁轨上设置的标记点,或者是待测点附近相应的自然景观特征;标志可以主动发光,也可以依靠反射日光或其他光源进行成像,标志优选为红外发光标志。

3. 一种监测多点沉降的极简串联像机链测量方法,其特征在于,监测沉降的过程如下:

1) 根据测量现场要求,在每个需要测量的位置设立测量单元,组成串联像机链,其中每个测量单元由 1 个像机和 1 个标志固联构成;

2) 标定出每个像机对相应拍摄的每个标志的放大倍数;

3) 测量系统中各像机同步采集图像;

4) 各像机对应的图像处理系统或数据处理中心处理采集的图像序列,从中高精度提取各个标志在图像中的位置;

5) 将上一步得到的各标志坐标数据按成像几何约束关系统一进行处理,得到最终的沉降数据;

标记串联像机链测量单元编号为 $SCC_1, SCC_2, SCC_3 \dots SCC(i), SCC(i+1) \dots SCC(n)$;

测量单元 $SCC(i)$ 中像机 $C(i)$ 拍摄右侧或左侧两个测量单元中的合作标志 $M(i+1)$ 、 $M(i+2)$, 则合作标志在图像中的竖直方向位移量为: 设 t 、 $t+1$ 时刻合作标志 $M(i+1)$ 在像机 $C(i)$ 中的图像坐标分别为 $(x_{M(i+1)}^t, y_{M(i+1)}^t)$ 、 $(x_{M(i+1)}^{t+1}, y_{M(i+1)}^{t+1})$, 则合作标志 $M(i+1)$ 在像机 $C(i)$ 图像中的竖直方向位移量 $k_{M(i+1)}^C$ 为 $y_{M(i+1)}^{t+1} - y_{M(i+1)}^t$, 同理可得合作标志 $M(i+2)$ 在像机 $C(i)$ 图像中的竖直方向位移量 $k_{M(i+2)}^C$ 为 $y_{M(i+2)}^{t+1} - y_{M(i+2)}^t$;

即得到监测模型

$$\begin{cases} k_{M(i+1)}^C = k_{M(i+1)}^C \left[(\Delta y_{M(i+1)} - \Delta y^C) \cdot \cos \theta^C + d_{M(i+1)}^C \cdot \sin \theta^C \right] \\ k_{M(i+2)}^C = k_{M(i+2)}^C \left[(\Delta y_{M(i+2)} - \Delta y^C) \cdot \cos \theta^C + d_{M(i+2)}^C \cdot \sin \theta^C \right] \end{cases} \quad (1)$$

公式 (1) 中右上标为像机编号,右下标为合作标志编号; k 为合作标志在像机图像中的竖直位移量, k 为图像对标志的放大倍数; Δy 为合作标志或像机处的沉降量; d 是像机与合作标志间的距离; θ^C 为编号为 C_i 的像机单元的俯仰角变化量; k 可由相应标志点图像坐标的变化得到, d 、 k 具体数值可通过标定或者测量得到, Δy 、 θ 为沉降监测量;

实际工程测量中像机光轴俯仰变化是一个小量,因此有 $\cos \theta^{\alpha} \approx 1$,将非线性方程组(1)化为线性方程组

$$\begin{cases} k_{M(i+1)}^{\alpha} = k_{M(i+1)}^{\alpha} (\Delta y_{M(i+1)} - \Delta y^{\alpha} + d_{M(i+1)}^{\alpha} \sin \theta^{\alpha}) \\ k_{M(i+2)}^{\alpha} = k_{M(i+2)}^{\alpha} (\Delta y_{M(i+2)} - \Delta y^{\alpha} + d_{M(i+2)}^{\alpha} \sin \theta^{\alpha}) \end{cases} \quad (2)$$

假设沿着待测区域安装 m 个测量单元,则根据公式(2)可以列出 $2(m-2)+1=2m-3$ 个方程,但存在 $2m-1$ 个未知数: n 个测量单元沉降量以及 $m-1$ 个像机俯仰角变化量,串联像机链中存在 $m \geq 1$ 个控制点,则根据公式(2)得到的方程中未知数个数 $2m-1-2m$ 小于等于方程个数 $2m-3$,方程组可解,则该监测模型为一个未知数个数小于方程个数的线性方程组,由线性最小二乘方法求解合作标志沉降值和像机俯仰值。

一种监测多点沉降的极简串联像机链测量方法与系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种铁路(含地铁、高铁)、公路、隧道等工程路基、地面、桥梁沉降的极简串联像机链自动监测方法与系统,具体是一种利用极简串联像机链的摄像测量技术实现路基、地面、桥梁沉降自动监测的方法与系统。

背景技术

[0002] 铁路、桥梁、隧道、堤坝、公路、楼房等基础设施的广泛建设与使用,极大的促进了人们日常生活水平的提高以及社会经济的发展。然而这些重要的基础设施在建设和运营过程中,可能由于受到外载荷的作用而使得土层孔隙发生压缩变形,从而引起沉降。微小变形就可能造成路面、壁面以及堤坝等产生裂缝,更甚者将导致坍塌事故,给人民生活带来安全隐患,甚至造成重大财产损失和人员伤亡。

[0003] 目前为止,沉降监测技术大致可分为三类:传统土木监测技术、空间监测技术以及光学测量技术。传统土木监测,具有操作简单、易于测量等优点,但是普遍存在一些问题:接触测量,影响施工,且受环境影响大;安装和维护困难;测量数据需要人工采集,工作强度大,不能实现沉降的自动监测。空间监测技术需要的成本高,且在铅垂方向的精度不高,由于需要接受信号、卫星存在运行周期,使得不能对隧道、深山峡谷等地区进行测量,且观测时段和观测频率受限。光学方法具有非接触测量、精度高、信息传输速度快、受外界影响小、自动化程度高等优点,但是对设备的安装条件要求较高,要求测量装置安装在稳定区域,并保持光轴水平。

[0004] 摄像测量是一门已经发展比较成熟的测量技术,它涉及了光学测量、摄影测量以及计算机视觉等学科领域,汲取各学科之所长,具有高精度、非接触、动态测量以及实时测量等优点,已经在飞行器姿态估计、大型结构形变测量、勘察勘测、质量监测、建筑施工、三维重建等领域得到了广泛的应用。对于大型结构变形测量,我们先后提出了折线光路像机链测量多点位姿变化,和多头像机链测量多点沉降的方法。本发明提出一种新的监测多点沉降的极简串联像机链方法,构造像机链时不需要多台像机固连为多头像机,也不需要像机与多控制点标志体固连,而只需要像机与单个标志点固连,并且二者间的关系不需要标定。因而避免了进行多头像机间或像机与固连的多控制点标志体间相对关系精确标定的复杂工作。本发明可用于路基、桥梁等的沉降监测,具有重要的理论研究意义和广泛的应用前景。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是:针对铁路、公路和隧道等重要基础设施的路基、地面、桥梁沉降监测的工程困难,提出一种新的监测多点沉降的极简串联像机链方法,在自身可能存在沉降的测量区域条件下实现路基、地面、桥梁沉降的高精度和长时间连续监测。

[0006] 本发明的技术解决方案是:用极简串联像机链实现路基、地面、桥梁沉降的监测。图1为铁路、公路和隧道沿线布置的极简串联像机链沉降监测系统组成示意图,在

各待测点安装测量单元,测量单元串联起来,其中,测量单元由 1 个像机和 1 个标志固连构成,二者仅需要保证固定连接即可,相互关系不需要标定。测量单元配置有图像处理系统或传输系统并配有电源,当采用发光标志时也需要给标志配备电源。各个测量单元通过有线或无线数据传输与数据处理终端连接。工作时,所有测量单元中的像机同步采集图像;将拍摄得到的各个标志的图像数据传输进图像处理系统,提取得到各个标志在各个图像中的位置后发送至数据处理中心,或者由像机直接将图像数据通过传输系统传送至数据处理中心,由数据处理中心提取各个标志位置并综合一个或一个以上个控制点(严格不动或沉降变形已知)的沉降信息处理得到最终的沉降数据,其中控制点 $m \geq 1$ 为标记点 n 的一部分,即 $m > n \geq 1$ 。

[0007] 所述的标志由 m 个任何被计算机可以识别的标记点组成。所述测量单元也为 m 个。例如便于高精度定位的人工制作的多个标记点(十字丝、圆斑或对顶角等)组成的合作标志,或者路基、铁轨上设置的标记点,甚至是待测点附近相应的自然景观特征;标志可以主动发光,也可以依靠反射日光或其他光源进行成像。标志优选为红外发光标志,以满足全天时测量需求。

[0008] 所述的像机沿用了摄像测量学中的习惯,侧重于动态、实时的采集图像和测量。实际工程中路基下沉量通常是比较缓慢的,可以使用普通非连拍的相机。具体类型和型号可根据实际需要和采样频率来选定。

[0009] 所述的极简串联像机链是指多个测量单元构成的测量链路。“极简”是指串联像机链的构造十分简单,只需要在各待测点安装测量单元组成串联像机链即可,并且每个测量单元仅需要由单个像机和单个标志点固连构成。测量链路和路基线路都不要求是直线。

[0010] 本方法中的测量单元能够安装在自身可能存在沉降的地基上,通过串联像机链将控制点和各标志点连接起来,利用测量单元中像机与标志的固连约束和相邻像机对各同名标志成像的几何约束关系,将各标志的沉降量、各像机的俯仰角直接解算出来。

[0011] 由于本方法是利用极简串联像机链来传递测量各测量单元的沉降位移,因此我们称本方法为监测多点沉降的极简串联像机链方法,并以此区别于发明人所在研究中心先前提出的同时传递位置和姿态的折线光路像机链摄像测量原理,和基于位移传递像机链摄像测量的路基沉降自动监测方法与系统。前面提出的两种方法在构造像机链时需要多台像机固连为多头像机,或像机与多控制点标志体固连,而本发明只需要像机与单个标志点固连,并且二者间的关系不需要标定。从而避免了进行多头像机间或像机与固连的多控制点标志体间相对关系精确标定的复杂工作,便于工程实用。

[0012] 本发明监测沉降的过程如下:

1) 根据测量现场要求,在每个需要测量的位置设立测量单元,组成极简串联像机链,其中每个测量单元由 1 个像机和 1 个标志固连构成;

2) 标定出每个像机对相应拍摄的每个标志的放大倍数;

3) 测量系统中各像机同步采集图像;

4) 各像机对应的图像处理系统或数据处理中心处理采集的图像序列,从中高精度提取各个标志在图像中的位置。具体实现算法可参见于起峰、尚洋,《摄像测量学原理与应用研究》,科学出版社, P81-117, 2009;

5) 将上一步得到的各标志坐标数据按下述 2 中的成像几何约束关系统一进行处理,得

到最终的沉降数据。

[0013] 沉降测量的基本原理：

设计图 2 所示的极简串联像机链沉降监测系统,从左至右记串联像机链测量单元编号为 $SCC1, SCC2, SCC3 \dots SCC(i), SCC(i+1) \dots SCC(n)$ 。

[0014] 引起像机所拍图像中合作标志发生竖直位移的主要因素有以下三项:像机沉降变化、像机俯仰变化和合作标志沉降变化。测量单元 $SCC(i)$ 中像机 $C(i)$ 拍摄右侧或左侧两个测量单元中的合作标志 $M(i+1), M(i+2)$, 则合作标志在图像中的竖直方向位移量为:设 $t, t+1$ 时刻合作标志 $M(i+1)$ 在像机 $C(i)$ 中的图像坐标分别为 $(x_{M(i+1)}^t, y_{M(i+1)}^t), (x_{M(i+1)}^{t+1}, y_{M(i+1)}^{t+1})$,

则合作标志 $M(i+1)$ 在像机 $C(i)$ 图像中的竖直方向位移量 $h_{M(i+1)}^C$ 为 $y_{M(i+1)}^{t+1} - y_{M(i+1)}^t$, 同理可得

合作标志 $M(i+2)$ 在像机 $C(i)$ 图像中的竖直方向位移量 $h_{M(i+2)}^C$ 为 $y_{M(i+2)}^{t+1} - y_{M(i+2)}^t$ 。

[0015] 由图 3 分析即可得到监测模型

$$\begin{cases} h_{M(i+1)}^C = k_{M(i+1)}^C \left[(\Delta y_{M(i+1)} - \Delta y^C) \cdot \cos \theta^C + d_{M(i+1)}^C \cdot \sin \theta^C \right] \\ h_{M(i+2)}^C = k_{M(i+2)}^C \left[(\Delta y_{M(i+2)} - \Delta y^C) \cdot \cos \theta^C + d_{M(i+2)}^C \cdot \sin \theta^C \right] \end{cases} \quad (1)$$

公式 (1) 中右上标为像机编号,右下标为合作标志编号; h 为合作标志在像机图像中的竖直位移量, k 为图像对标志的放大倍数; Δy 为合作标志或像机处的沉降量; d 是像机与合作标志间的距离; θ^C 为编号为 C_i 的像机单元的俯仰角变化量。 k 可由相应标志点图像坐标的变化得到, d, k 具体数值可通过标定或者测量得到, $\Delta y, \theta$ 为沉降监测量。

[0016] 实际工程测量中像机光轴俯仰变化是一个小量,因此有 $\cos \theta^C \approx 1$ 可将非线性方程组化为线性方程组

$$\begin{cases} h_{M(i+1)}^C = k_{M(i+1)}^C \left(\Delta y_{M(i+1)} - \Delta y^C + d_{M(i+1)}^C \cdot \sin \theta^C \right) \\ h_{M(i+2)}^C = k_{M(i+2)}^C \left(\Delta y_{M(i+2)} - \Delta y^C + d_{M(i+2)}^C \cdot \sin \theta^C \right) \end{cases} \quad (2)$$

假设实际测量中,按照极简串联像机链沉降监测系统所示,沿着待测区域安装 n 个测量单元。则根据公式 (2) 可以列出 $2(n-2)+1=2n-3$ 个方程,但存在 $2n-1$ 个未知数: n 个测量单元沉降量以及 $n-1$ 个像机俯仰角变化量(最后一个单元不含像机,即无俯仰变量)。如果极简串联像机链中存在 $m \geq 1$ 个稳定单元(即前述的控制点),则根据公式 (2) 得到的方程中未知数个数 $2n-1-2m$ 小于等于方程个数 $2n-3$,方程组可解。则该监测模型为一个未知数个数小于方程个数的线性方程组,可由线性最小二乘方法快速求解合作标志沉降值和像机俯仰值。

[0017] 本发明可以达到以下的技术效果：

1) 本发明提出了一种基于极简串联像机链摄像测量技术的路基、地面、桥梁沉降自动监测方法,它利用多个测量单元串联构成像机链,将各个沉降待测点与若干沉降已知的控制点联系起来,通过测量单元中像机与标志的固连约束和相邻像机对各同名标志成像的几何约束关系,将各标志的沉降量、各像机的俯仰角直接解算出来,求解结果不受测量站安装位置自身可能沉降和倾斜的影响。

[0018] 2) 本方法构造像机链时不需要多台像机固连为多头像机,也不需要像机与多控制

点标志体固连,而只需要单个像机与单个标志点固连,并且二者间的关系不需要标定,避免了进行多头像机间或像机与固连的多控制点标志体间相对关系精确标定的复杂工作,有很强的工程实用性。

[0019] 3) 本方法针对沉降监测应用中沉降往往为单个方向位移的实际情况,对摄像测量模型进行了合理的简化,通过在各待测点安装测量单元组成极简串联像机链来测量沉降量。相比需要在待测点安装 3 个以上标志点的 PNP 方法,本方法只需观测 1 个合作标志点来监测沉降,便于沉降监测系统的现场配置。

[0020] 4) 本方法可根据工程现场情况安装测量单元,实现多点沉降的自动监测。极简串联像机链监测系统仅需要 1 个以上稳定单元或沉降已知的测量单元,并且稳定单元在极简串联像机链中的位置不限。

[0021] 5) 本发明可以实现对路基、地面、桥梁沉降的自动、高精度、长时间、连续测量。

附图说明

[0022] 图 1 为监测多点沉降的极简串联像机链测量系统组成示意图,

图 2 为极简串联像机链沉降监测系统,

图 3 为极简串联像机链沉降前后测量单元变化示意图。

具体实施方案

[0023] 本发明提出一种新的监测多点沉降的极简串联像机链方法,主要从两方面的区别于现有的沉降监测系统:

1、从硬件上区别于其他串联监测系统,本监测系统主要由普通像机和标志点构成,不需要其他复杂设备如滑动电阻式位移传感器、微波雷达收发机等,极大降低了设备安装和维护困难;

2、构造的像机链极为简单,从形式上不同于折线光路像机链测量多点位姿变化的方法,不需要像机与多控制点标志体固连,从而避免了像机与固连的多控制点标志体间相对关系精确标定的复杂工作。也不同于多头像机链测量多点沉降的方法,不需要多台像机固连为多头像机,避免了进行多头像机间相对关系精确标定的复杂工作。

[0024] 本方法仅需要像机与单个标志点固连,并且二者间的关系不需要标定,便于现场布置和使用。

[0025] 具体步骤如下:

1) 根据测量现场要求,在每个需要测量的位置设立测量单元,组成极简串联像机链,其中测量单元由 1 个像机站和 1 个标志点固联构成;

2) 标定出每个像机对相应拍摄的每个标志的放大倍数;

3) 测量系统中各像机同步采集图像;

4) 各像机对应的图像处理系统或数据处理中心处理采集的图像序列,从中高精度提取各个标志在图像中的位置。

[0026] 5) 将上一步得到的各标志图像坐标数据按标志成像几何约束关系公式统一进行处理,得到路基、地面、桥梁最终的沉降数据。

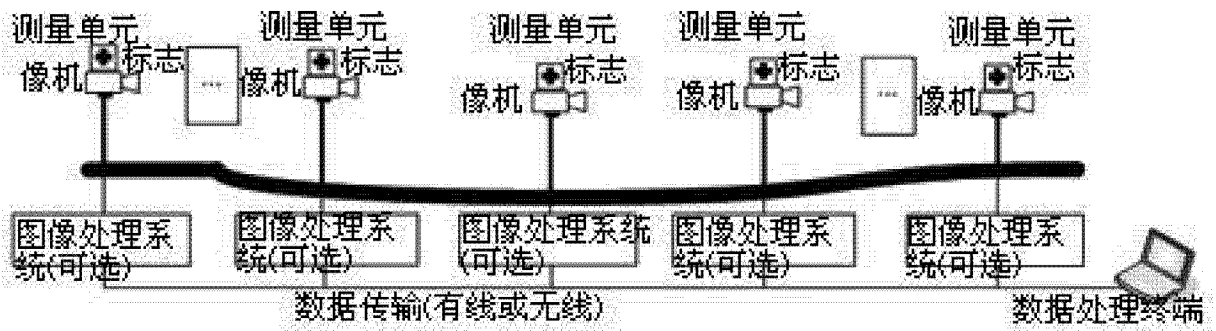


图 1

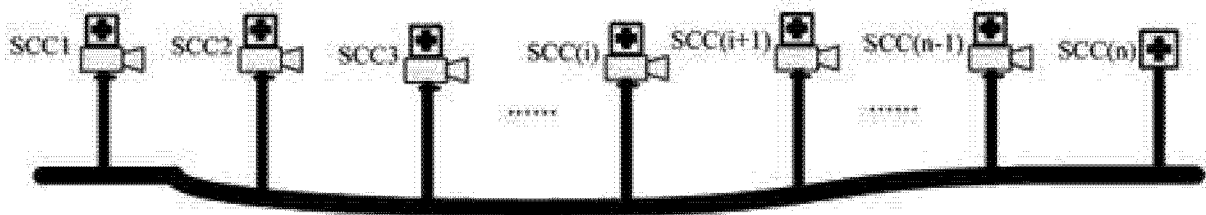


图 2

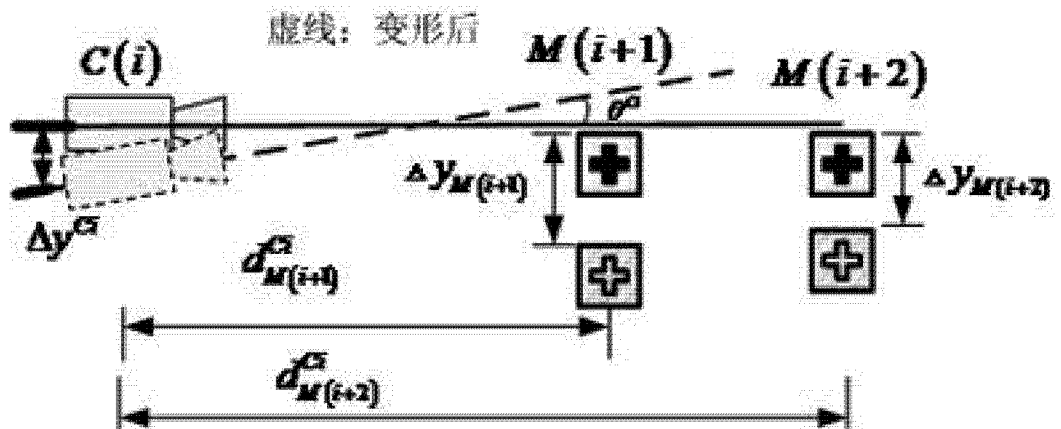


图 3