

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 4 月 4 日 (04.04.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/067435 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 7/246 (2017.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/120925
- (22) 国际申请日: 2023 年 9 月 25 日 (25.09.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202211209467.8 2022年9月30日 (30.09.2022) CN
- (71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。
- (72) 发明人: 舒江鹏 (SHU, Jiangpeng); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。
张从广 (ZHANG, Congguang); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。
周姝康 (ZHOU, Shukang); 中国浙江省杭州市西

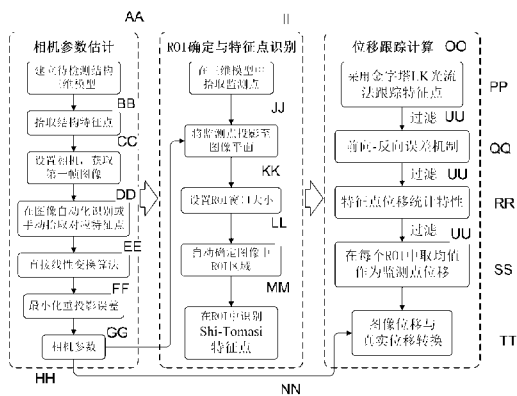
湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。马亥波 (MA, Haibo); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。段元锋 (DUAN, Yuanfeng); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司 (HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD); 中国浙江省杭州市西湖区古墩路 701 号紫金广场 C 座 1506 室, Zhejiang 310013 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,

(54) Title: VIDEO-BASED MULTI-OBJECT DISPLACEMENT TRACKING MONITORING METHOD AND APPARATUS

(54) 发明名称: 一种基于视频的多目标位移跟踪监测方法及装置



AA Camera parameter estimation
BB Create a three-dimensional model of a structure to be tested
CC Pick up structure feature points
DD Set a camera and acquire a first image frame
EE In the image, automatically identify or manually pick up corresponding feature points
FF Direct linear transform algorithm
GG Minimize re-projection errors
HH Camera parameters
II ROI determination and feature point identification
JJ Pick up in the three-dimensional model monitoring points
KK Project the monitoring points onto an image plane
LL Set the size of an ROI window
MM Automatically determine an ROI in the image
NN Identify in the ROI a Shi-Tomasi feature point
OO Displacement tracking calculation
PP By using the pyramidal LK optical flow algorithm, track the feature points
QQ Forward-backward error mechanism
RR Feature point displacement statistical characteristic
SS Take in each ROI an average value as the displacement of a monitoring point
TT Image displacement and real displacement conversion
UU Filter

图 2

(57) Abstract: Disclosed in the present invention is a video-based multi-object displacement tracking monitoring method, comprising: step 1, acquiring structure parameters of a target building, creating a corresponding three-dimensional structure model, and obtaining corresponding camera parameters; step 2, setting monitoring objects required to be monitored in the target building, and outputting a region of interest containing at least one target feature point; step 3, by using the pyramidal Lucas-Kanade optical flow algorithm, performing displacement tracking on all target feature points in the region of interest, removing target feature points having abnormal displacement data from a tracking result, and calculating as the pixel displacement of a monitoring object in the region of interest the average displacement value of all unremoved target feature points; and step 4, according to the camera parameters, reversely mapping the pixel displacements of all monitoring objects into the three-dimensional model, so as to obtain the physical displacements of the monitoring objects in a real environment. Further provided in the present invention is a multi-object displacement tracking monitoring apparatus. The method of the present invention can improve the accuracy and reliability of acquiring physical displacements.

SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR,
HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN,
TD, TG)。

本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本发明公开了一种基于视频的多目标位移跟踪监测方法, 包括: 步骤1、获取目标建筑物的结构参数并建立对应的结构三维模型, 获得对应的相机参数; 步骤2、设定目标建筑物中需要监测的监测目标, 输出包含至少一个目标特征点的感兴趣区域, 步骤3、采用金字塔流光法对感兴趣区域内的所有目标特征点进行位移跟踪, 将跟踪结果中位移数据异常的目标特征点进行剔除, 并计算所有未剔除目标特征点的位移平均值作为感兴趣区域中监测目标的像素位移; 步骤4、根据相机参数, 将所有监测目标的像素位移反向映射至三维模型中, 获得监测目标真实环境中的物理位移。本发明还提供了一种多目标位移跟踪监测装置。本发明的方法可以提高物理位移获取的准确性和可靠性。

一种基于视频的多目标位移跟踪监测方法及装置

技术领域

本发明涉及结构健康监测领域，尤其涉及一种基于视频的多目标位移跟踪监测方法及装置。

背景技术

现役桥梁结构、超高层结构的位移、振动监测是结构损伤识别与健康监测的重要内容，其能够为结构安全评估和维护提供基本的信息。传统通过布置传感器进行监测的方法，其部署过程繁琐、维护困难、效率低且成本高，不便于对结构进行长期多点监测。近年来发展的非接触式视觉测量方法，能够充分利用监控摄像头、手机摄像头等常见相机进行结构关键节点的跟踪监测，使得维护人员能够监测到传统方法难以达到或危险的位置。但是目前多数方法仍需要采用标定板提前进行人工标定，且在监测过程中依赖人工标记物，导致现场监测非常困难。

专利文献 CN112686879A 公开了一种基于视频图像的结构振动分析及装置，包括：逐帧获取待测物沿振动方向振动的视频图像，并将各帧视频图像转化为灰度图像，截取各帧灰度图像的指定区域，并计算所述各帧灰度图像的指定区域中的最大像素值，根据所述各帧灰度图像的指定区域中最大像素值分析待测物的振动频率和/或振动幅值，其中，所述各帧灰度图像的指定区域在各帧灰度图像上的位置相同且均包含待测物振动方向上边界及所述边界邻域的一列像素点，该方法需要提前做好相机的标定板布置，对于一些超高建筑就存在布置困难的问题。

专利文献 CN114964384A 公开了一种用于大型地震模拟研究设施的健康监测系统，包括传感器、数据采集模块、云服务器、数据处理模块、远程监控终端及预警模块；所述传感器包括动态应变仪、位移传感器、加速度/速度传感器，用于获取大型地震模拟研究设施的应变、位移、加速度及速度信息；所述数据采集模块将传感器采集的信号转换成实时数据，并上传到云服务器；所述数据处理模块对上传的数据进行处理、分析及判别，当采集信号超过设定的报警阈值时，预警模块进行报警。该方法通过多种传感器去识别待监测结构的各类数据，但该方法较依赖传感器准确度，且容易在使用过程损坏，日常维护不便。

发明内容

为了解决上述问题，本发明提供了一种监测设备部署方便、无需提前人工标定的多目标跟踪监测方法，该方法可以提高物理位移获取的准确性和可靠性。

一种基于视频的多目标位移跟踪监测方法，包括：

步骤 1、获取目标建筑物的结构参数并建立对应的结构三维模型，基于针孔相机模型估计对应的相机参数；

步骤 2、根据步骤 1 的结构三维模型与相机参数，设定目标建筑物中需要监测的监测目标，并基于视频的时间轴顺序，输出包含至少一个目标特征点的感兴趣区域；

步骤 3、采用金字塔流光法对感兴趣区域内的所有目标特征点进行位移跟踪，将跟踪结果中位移数据异常的目标特征点进行剔除，并计算所有未剔除目标特征点的位移平均值作为所述感兴趣区域中监测目标的像素位移；

步骤 4、根据相机参数，将所有感兴趣区域中监测目标的像素位移反向映射至三维模型中，获得真实环境中监测目标的物理位移。

所述物理位移用于计算目标建筑物的振动情况，是结构健康监测中的重要指标。

本发明借助于结构表面纹理特征，以目标特征点跟踪的方式完成监测目标的跟踪测量，同时采用前向-反向误差机制和基于目标特征点位移统计特性剔除噪点的方法，进一步确保了计算结果的可靠性和准确性。

优选的，所述结构三维模型基于目标建筑的实际尺寸和空间位置关系建立，在估计相机参数时无需提前设置标定物，仅需目标监测结构关键点，线和面的几何尺寸并结合空间位置对相机位置进行标定。

具体的，所述监测目标包括：桁架梁桥的节点板，超高层建筑的屋顶的角点、楼层窗户的角点，桥梁栏杆与桥梁的交点，斜拉桥、悬索桥索的锚固点，桁架拱桥杆件的交点。

优选的，在步骤 1 中，所述相机参数包括畸变参数和相机内外参数，采用直接线性变换算法与Levenberg – Marquardt算法计算得到。

具体的，所述相机参数的具体获取过程如下：首选忽略相机畸变并基于直接线性变换得到相机内外参数初始值，再通过Levenberg – Marquardt算法最小化目标特征点重投影误差得到畸变参数和优化后的相机内外参数。

优选的，在步骤 1 中，所述感兴趣区域通过将三维模型中的监测目标投影至图像平面，并以监测目标在图像平面中的投影为中心，利用尺寸为 $w \times h$ 的窗口截取获得，其中 w 为窗口的宽度， h 为窗口的高度。

具体的，所述投影的公式如下：

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K[R, t] \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中, $[x_w, y_w, z_w, 1]^T, (i = 1, 2, \dots, n)$ 表示三维空间拾取的监测目标, $[u, v, 1]^T$ 表示图像平面的投影点。

优选的, 步骤 2 中, 所述目标特征点采用图像梯度自动化检测法对视频图像序列校正后第一帧图像中的感兴趣区域识别获得。

具体的, 在步骤 2 中, 所述目标特征点包括 Harris 角点、SURF 角点以及 Shi - Tomasi 角点。

优选的, 在步骤 3 中, 采用前向-后向误差机制和特征点位移统计特性对位移数据异常的目标特征点进行剔除。

具体的, 所述前向-后向误差机制具体如下:

设 I_t 为 t 时刻视频序列中的图像, x_t 为 I_t 中特征点的位置, 首先利用金字塔光流法从 I_t 到 I_{t+1} 计算特征点在 I_{t+1} 中的位置 $\hat{x}_t$, 然后在基于 $\hat{x}_t$ 反向从 I_{t+1} 到 I_t 计算特征点在 I_t 中的位置估计值 $\hat{x}'_t$, 最后基于前向-反向误差 $e_{fb} = \|\hat{x}'_t - \hat{x}_t\|_2^2$ 的大小评估跟踪结果的好坏;

设置阈值 e_{th} , 若 $e_{fb} < e_{th}$, 则判定跟踪结果可靠, 否则舍弃该特征点的监测结果。

具体的, 所述特征点位移统计特性的使用方法如下:

设 d_{jt}^i 为第 i 个 ROI 中第 j 个特征点在 t 时刻由金字塔光流法计算所得的位移, $m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{jt}^i$, $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} (d_{jt}^i - m)^2}$ 为 t 时刻第 i 个 ROI 中位移均值和标准差;

如果 $m - 3\sigma < d_{jt}^i < m + 3\sigma$, 则该跟踪结果可靠, 否则不可靠并舍弃。

优选的, 在步骤 4 中, 所述物理位移通过计算机相机射线与监测目标运动平面的交点获得。

具体的, 所述物理位移的具体获取过程如下:

设 x_t 为 I_t 中监测点的位置, C 为相机中心, K, R 分别相机内参矩阵和外参矩阵, 则相机射线可以表达为:

$$r(\lambda) = C + \lambda R^{-1} K^{-1} x_t = C + \lambda e_r$$

其中, λ 和 e_r 为射线的深度值和方向向量;

若平面为 $(x - c_p) \cdot \vec{n} = 0$, 其中 c_p 为平面上一点, $\vec{n}$ 为该平面的法向量, 则 $\lambda = \frac{(c_p - C) \cdot \vec{n}}{e_r \cdot \vec{n}}$;

由此, x_t 在平面中的反向投影点为 $x_t^{\text{back-proj}} = C + \lambda e_r$, 进一步可得监测点的位移为

$$D_t = x_t^{\text{back-proj}} - x_{t-1}^{\text{back-proj}}。$$

本发明还提供了一种多目标跟踪监测装置, 包括存储器和一个或多个处理器, 所述存储器中存储有可执行代码, 所述一个或多个处理器执行所述可执行代码时, 用于实现权利要求

求 1-9 任一所述的多目标位移跟踪监测方法，其具体步骤如下：获取目标建筑的结构参数与结构三维模型，通过多目标位移跟踪监测方法对指定监测结构进行识别分析，输出目标建筑的实际物理位移。

与现有技术相比，本发明的有益效果：

(1) 基于目标建筑的几何信息完成相机参数的估计，无需提前布置标定板。

(2) 在监测目标的位移跟踪时，采用的前向-反向误差机制和基于特征点位移统计特性剔除噪点的方法进一步确保了计算结果的可靠性和准确性。

附图说明

图 1 为本实施例提供的桁架梁模型、相机模型及监测点的示意图；

图 2 为本实施例提供的基于视频的多目标位移跟踪监测方法的技术流程图；

图 3 为桁架梁模型的部分 ROI 以及目标特征点提取结果示意图；

图 4 为实施例中 1 号，7 号和 8 号位移监测结果示意图。

具体实施方式

如图 1 所示，以一座桁架梁桥为样本，对该桁架梁桥的上弦杆、下弦杆以及腹杆的 1-16 号监测目标的振动进行监测。

如图 2 所示，为实施例提供的一种基于视频的多目标位移跟踪监测方法，包括：

步骤 1、架设好相机使得待监测的目标均在相机视野内，之后应根据结构的几何信息建立其三维模型，以满足相机参数估计和目标监测点拾取的要求，通过在三维模型上拾取 1-24 节点，可以获取他们的三维坐标。

接着，在启动相机开始监测后可以获取视频图像序列 $I_i, (i = 0, 1, \dots, t)$ ，其中 I_0 为视频的第一帧图像。由于上下弦杆和腹杆交叉处是较大的节点板，这里采用手动拾取的方式在 I_0 中获取 1-24 号节点的图像坐标。

需要注意的是，在其他实际应用过程，若用于相机标定的特征点为结构的角点或者圆心等特征，可以采用 Harris 角点识别、圆检测与拟合等算法自动完成图像坐标确定问题。

获取用于相机标定的 1-24 节点的三维坐标和图像坐标后，基于直接线性变换算法计算相机内外参数 R 和 K 的初始值，再采用 LM 算法优化特征点重投影误差，得到最终的相机参数 R 、 K 以及畸变参数。

基于直接线性变换计算相机内外参数初始值的方法具体为通过奇异值分解求解如下齐次线性方程组：

$$\begin{bmatrix} p_{w1}^T & 0 & -u_1 p_{w1}^T \\ 0 & p_{w1}^T & -v_1 p_{w1}^T \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{wn}^T & 0 & -u_n p_{wn}^T \\ 0 & p_{wn}^T & -v_n p_{wn}^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_{11} \\ p_{12} \end{bmatrix} = 0$$

其中, $p_{wi} = [x_{wi}, y_{wi}, z_{wi}]^T$, ($i = 1, 2, \dots, n$)为三维空间的特征点, 即三维模型中 1-24 节点坐标, $p_{mi} = [u_i, v_i, 1]^T$ 为图像中的特征点, 即图像中的 1-24 节点像素坐标;

$$P = \begin{bmatrix} p_1 & p_2 & p_3 & p_4 \\ p_5 & p_5 & p_7 & p_8 \\ p_9 & p_{10} & p_{11} & p_{12} \end{bmatrix} = K[R|t] = K[R| -RC] = [M| -MC]$$

其中 R , K 为相机外参矩阵和内参矩阵, C 为相机中心坐标, 是投影矩阵 P 的最小奇异值对应的右奇异向量。

M 为 P 的前 3 行前 3 列, 通过对 M 进行 QR 分解便可以得到相机参数 R 和 K 。

采用 LM 算法优化特征点重投影误差的目标函数为:

$$E = \sum_{i=1}^N \|f(p_{wi}, \Phi) - p_{mi}\|^2$$

其中 $f(p_{wi}, \Phi)$ 为三维空间中的特征点基于相机参数 Φ 在图像平面上的投影点, p_{mi} 为与之对应的图像上的特征点, Φ 包括相机的内参矩阵 K , 外参矩阵 R 以及径向畸变系数 κ_1 和 κ_2 。

步骤 2、感兴趣区域 (region of interest, ROI) 提取: 在步骤 (1) 所建立的三维模型中, 拾取需要跟踪测量的监测目标并输入窗口大小, 根据步骤 (1) 的相机参数, 自动在图像中确定监测目标在图像中的 ROI;

特征点识别: 根据步骤 (1) 的相机参数, 进行视频图像序列矫正, 并在第一帧图像上由步骤 (2) 确定的 ROI 中, 基于图像梯度, 自动化检测提取特征点;

为保证监测结果的准确性, 需要视频图像进行去畸变, 同时为加快计算效率, 这里首先根据步骤 (1) 的相机参数计算原始图像和矫正图像之间的映射关系, 然后基于这个关系将视频图像序列 I_t , ($i = 1, 2, \dots, t$)转换为无畸变图像序列 I_t^0 , ($i = 1, 2, \dots, t$)。图像矫正后, 在第一帧图像 I_0^0 上由步骤 (2) 确定的 ROI 中, 基于图像梯度自动化提取特征点。在实际应用中, 可以根据跟踪对象的纹理特征, 选择合适的特征检测器, 如 Harris 角点、SURF 角点以及 Shi - Tomasi 角点等。本实例中, 采用 Shi - Tomasi 角点检测器在每一个 ROI 中提取特征点, 能够得到较为合适的特征点质量和数量。

步骤 3、采用金字塔 LK 光流法以 I_0^0 为参考图像, 跟踪所有 ROI 中特征点在图像序列 I_t^0 中的位置 x_t , 则特征点的图像位移为 $d_t = x_t - x_{t-1}$, ($t = 1, 2, 3, \dots$), 经过前向-反向误差机制验证和基于特征点位移统计特性过滤噪点位移后, 可以将 ROI 中可靠特征点位移的平均值 $\bar{d}_t$ 作为

该目标监测节点的图像位移；

前向-反向误差机制具体为：设 I_t 为 t 时刻视频序列中的图像， x_t 为 I_t 中特征点的位置，首先利用金字塔光流法从 I_t 到 I_{t+1} 中计算特征点在 I_{t+1} 中的位置 $\hat{x}_t$ ，然后在基于 $\hat{x}_t$ 反向从 I_{t+1} 到 I_t 计算特征点在 I_t 中的位置估计值 $\hat{x}'_t$ ，最后基于前向-反向误差 $e_{fb} = \|\hat{x}'_t - \hat{x}_t\|_2$ 的大小评估跟踪结果的好坏；

设置阈值 e_{th} ，若 $e_{fb} < e_{th}$ ，则判定跟踪结果可靠，否则舍弃该特征点的监测结果。

根据特征点位移统计特性过滤噪点的方法具体为：设 d_{jt}^i 为第 i 个 ROI 中第 j 个特征点在 t 时刻由金字塔光流法计算所得的位移， $m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{jt}^i$ ， $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} (d_{jt}^i - m)^2}$ 为 t 时刻第 i 个 ROI 中位移均值和标准差，如果 $m - 3\sigma < d_{jt}^i < m + 3\sigma$ ，则该跟踪结果可靠，否则不可靠并舍弃。

如图 3 所示，所有“×”特征点均在背景上，在视频图像序列中并没有移动，因此他们的位移始终接近为零，很容易被剔除。

步骤 4、根据相机参数，将所有感兴趣区域中监测目标的像素位移反向映射至三维模型中，获得真实环境中监测目标的物理位移：

位移反向投影：根据步骤（3）中相机的位置参数，将图像中位移的跟踪结果反向投影到三维空间得到真实世界中的物理位移。

本实例中，1-16 号检测节点主要在竖直方向振动，即在图 1 中的目标平面上运动。设 x_t 为 I_t 中监测点的位置， C 为相机中心， K ， R 分别相机内参矩阵和外参矩阵，则相机射线可以表达为

$$r(\lambda) = C + \lambda R^{-1} K^{-1} x_t = C + \lambda e_r$$

其中， λ 和 e_r 为射线的深度值和方向向量。设目标平面为 $(x - c_p) \cdot \vec{n} = 0$ ，其中 c_p 为平面上一点， $\vec{n}$ 为该平面的法向量，则 $\lambda = \frac{(c_p - C) \cdot \vec{n}}{e_r \cdot \vec{n}}$ 。由此， x_t 在平面中的反向投影点为 $x_t^{\text{back-proj}} = C + \lambda e_r$ 。

因此，需要将图像位移 $\bar{d}_t$ 施加在步骤（2）得到的目标监测点在图像中的投影点 p_m^{tracked} 上，得到 t 时刻目标监测点在图像上的坐标 $p_m^{\text{tracked}} + \bar{d}_t$ ，并将其按照上述方法反向投影至目标平面上得到时刻 t 目标监测点在目标平面上的反向投影点 $p_{m,t}^{\text{tracked,back-proj}}$ ，进一步可得监测点的真实物理位移为 $D_t = p_{m,t}^{\text{tracked,back-proj}} - p_{m,t-1}^{\text{tracked,back-proj}}$ 。

本实施例中还提供了一种多目标位跟踪监测装置，包括存储器和一个或多个处理器，所述存储器中存储有可执行代码，所述一个或多个处理器执行所述可执行代码时，用于实现上

述的多目标位移跟踪监测方法,其具体步骤如下:获取目标建筑的结构参数与结构三维模型,通过多目标位移跟踪监测方法对指定监测结构进行识别分析,输出目标建筑的实际物理位移。

如图4所示,输出结果中的1号,7号和8号位移监测结果示意图。

需要指出的是,示例中采用桁架节点的振动监测进行说明,但本发明不限于这些,也可以用于超高层建筑、梁桥、拱桥、斜拉桥以及悬索桥等结构的关键节点位移监测。

以上所述仅为本发明的较佳实施例,用以对本发明进行详细说明,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所做的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1、一种基于视频的多目标位移跟踪监测方法，其特征在于，包括：

步骤 1、获取目标建筑物的结构参数并建立对应的结构三维模型，基于针孔相机模型估计对应的相机参数；

步骤 2、根据步骤 1 的结构三维模型与相机参数，设定目标建筑物中需要监测的监测目标，并基于视频的时间轴顺序，输出包含至少一个目标特征点的感兴趣区域；

步骤 3、采用金字塔流光法对感兴趣区域内的所有目标特征点进行位移跟踪，将跟踪结果中位移数据异常的目标特征点进行剔除，并计算所有未剔除目标特征点的位移平均值作为所述感兴趣区域中监测目标的像素位移；

步骤 4、根据相机参数，将所有感兴趣区域中监测目标的像素位移反向映射至三维模型中，获得监测目标真实环境中的物理位移。

2、根据权利要求 1 所述的基于视频的多目标位移跟踪监测方法，其特征在于，在步骤 1 中，所述结构三维模型基于目标建筑的实际尺寸和空间位置关系建立。

3、根据权利要求 1 所述的基于视频的多目标位移跟踪监测方法，其特征在于，在步骤 1 中，所述相机参数包括畸变参数和相机内外参数，采用直接线性变换算法与 Levenberg – Marquardt 算法计算得到。

4、根据权利要求 1 所述的基于视频的多目标位移跟踪监测方法，其特征在于，在步骤 2 中，所述感兴趣区域通过将三维模型中的监测目标投影至图像平面，并以监测目标在图像平面中的投影点为中心，利用尺寸为 $w \times h$ 的窗口截取获得。

5、根据权利要求 4 所述的基于视频的多目标位移跟踪监测方法，其特征在于，所述投影的公式如下：

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K[R, t] \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中， $[x_w, y_w, z_w, 1]^T, (i = 1, 2, \dots, n)$ 表示三维空间拾取的监测目标， $[u, v, 1]^T$ 表示图像平面的投影点。

6、根据权利要求 1 所述的基于视频的多目标位移跟踪监测方法，其特征在于，在步骤 2 中，所述目标特征点采用图像梯度自动化检测法对视频图像序列校正后第一帧图像中的感兴趣区域识别获得。

7、根据权利要求 1 或 6 所述的基于视频的多目标位移跟踪监测方法，其特征在于，在步

骤 2 中，所述目标特征点包括 Harris 角点、SURF 角点以及 Shi – Tomasi 角点。

8、根据权利要求 1 所述的基于视频的多目标位移跟踪监测方法，其特征在于，在步骤 3 中，采用前向-反向误差机制和特征点位移统计特性对位移数据异常的目标特征点进行剔除。

9、根据权利要求 1 所述的基于视频的多目标位移跟踪监测方法，其特征在于，在步骤 4 中，所述物理位移通过计算相机射线与监测目标运动平面的交点获得。

10、一种多目标位移跟踪监测装置，其特征在于，包括存储器和一个或多个处理器，所述存储器中存储有可执行代码，所述一个或多个处理器执行所述可执行代码时，用于实现权利要求 1-9 任一所述的多目标位移跟踪监测方法，其具体步骤如下：获取目标建筑的结构参数与结构三维模型，通过多目标位移跟踪监测方法对指定监测结构进行识别分析，输出目标建筑的实际物理位移。

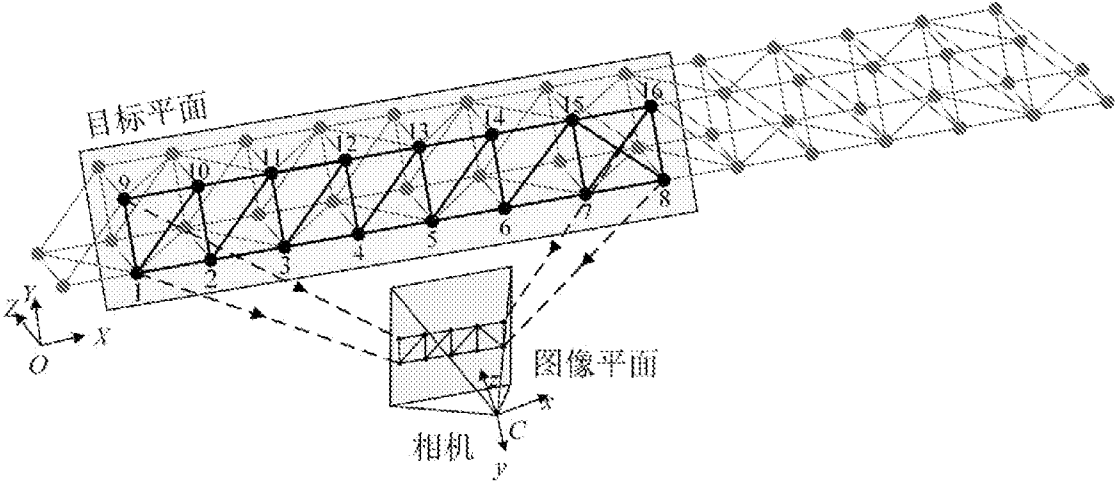


图 1

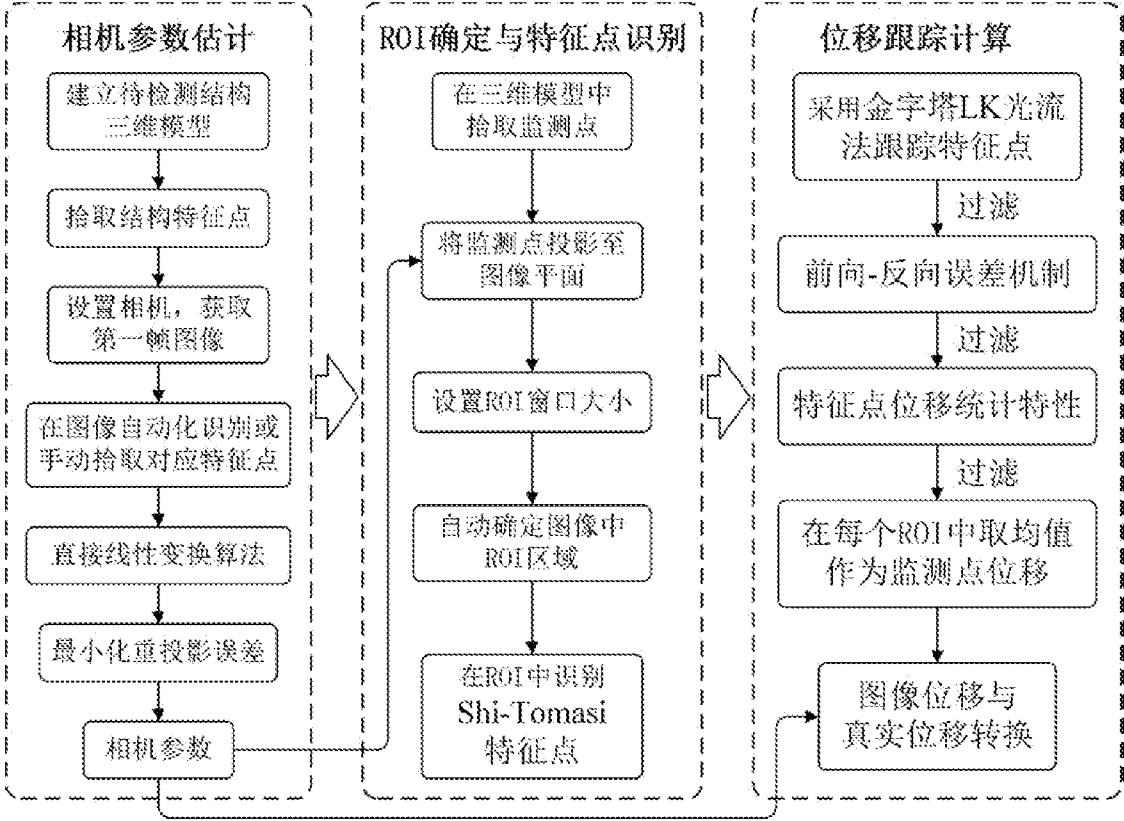


图 2

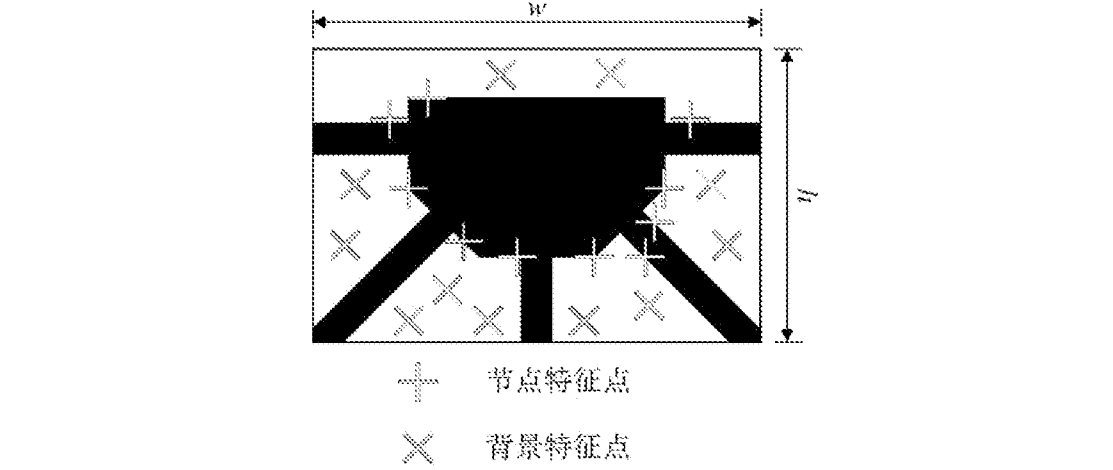


图 3

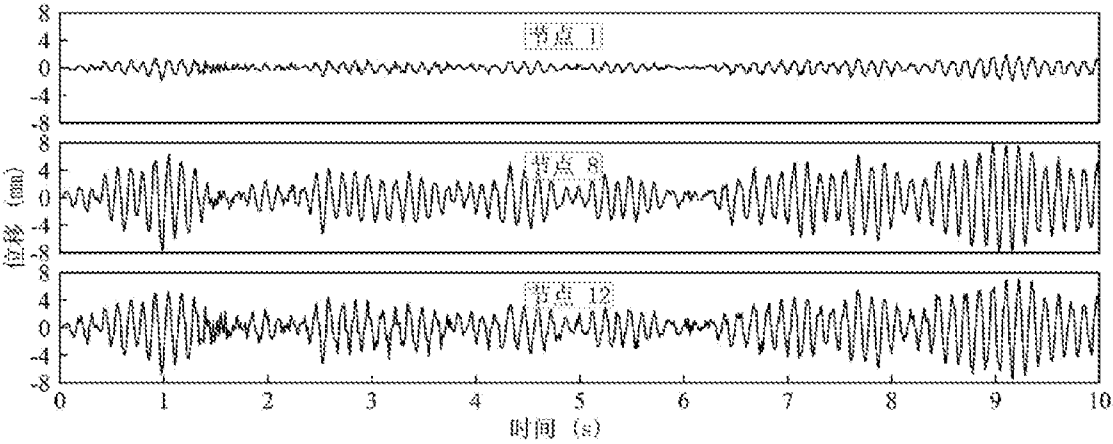


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/120925

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T7/246(2017.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC:G06T, G06K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNTXT, USTXT, EPTXT, WOTXT, VEN, CNABS, IEEE, BING: 三维, 模型, 相机, 参数, 感兴趣区域, 位移, 追踪, 流光法, 光流法, 剔除, 映射, 建筑, 3D, model, camera, parameter, ROI, displacement, track+, optic+, flow, delet+, map+, construction

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 115690150 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 03 February 2023 (2023-02-03) claims 1-10	1-10
Y	CN 112967312 A (HUNAN BRIDGE HEALTH INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 15 June 2021 (2021-06-15) description, paragraphs [0024]-[0035] and [0109], and figures 1-2	1-4, 6-10
Y	CN 114184127 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 15 March 2022 (2022-03-15) description, paragraphs [0019] and [0063]-[0069], and figures 1-2	1-4, 6-10
A	US 2012093361 A1 (HUANG ZHONGXIAN et al.) 19 April 2012 (2012-04-19) entire document	1-10
A	CN 105023278 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 04 November 2015 (2015-11-04) entire document	1-10
A	CN 109035343 A (FUZHOU UNIVERSITY) 18 December 2018 (2018-12-18) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 December 2023

Date of mailing of the international search report

28 December 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/120925

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	115690150	A	03 February 2023	None			
CN	112967312	A	15 June 2021	None			
CN	114184127	A	15 March 2022	None			
US	2012093361	A1	19 April 2012	TW	201216707	A	16 April 2012
				TWI	420906	B	21 December 2013
				US	8699748	B2	15 April 2014
CN	105023278	A	04 November 2015	WO	2017000466	A1	05 January 2017
				US	2018365843	A1	20 December 2018
				US	10217229	B2	26 February 2019
CN	109035343	A	18 December 2018	None			

A. 主题的分类 G06T7/246(2017.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) IPC:G06T, G06K 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNKI, CNTXT, USTXT, EPTXT, WOTXT, VEN, CNABS, IEEE, BING: 三维, 模型, 相机, 参数, 感兴趣区域, 位移, 追踪, 流光法, 光流法, 剔除, 映射, 建筑, 3D, model, camera, parameter, ROI, displacement, track+, optic+, flow, delet+, map+, construction		
C. 相关文件		
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 115690150 A (浙江大学) 2023年2月3日 (2023 - 02 - 03) 权利要求1-10	1-10
Y	CN 112967312 A (湖南桥康智能科技有限公司) 2021年6月15日 (2021 - 06 - 15) 说明书第[0024]-[0035], [0109]段、附图1-2	1-4, 6-10
Y	CN 114184127 A (哈尔滨工业大学) 2022年3月15日 (2022 - 03 - 15) 说明书第[0019], [0063]-[0069]段、附图1-2	1-4, 6-10
A	US 2012093361 A1 (HUANG, Chung-Hsien 等) 2012年4月19日 (2012 - 04 - 19) 全文	1-10
A	CN 105023278 A (中国矿业大学) 2015年11月4日 (2015 - 11 - 04) 全文	1-10
A	CN 109035343 A (福州大学) 2018年12月18日 (2018 - 12 - 18) 全文	1-10
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
★ 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2023年12月19日		国际检索报告邮寄日期 2023年12月28日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		授权官员 张建 电话号码 (+86) 010-53961432

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/120925

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	115690150	A	2023年2月3日	无			
CN	112967312	A	2021年6月15日	无			
CN	114184127	A	2022年3月15日	无			
US	2012093361	A1	2012年4月19日	TW	201216707	A	2012年4月16日
				TWI	420906	B	2013年12月21日
				US	8699748	B2	2014年4月15日
CN	105023278	A	2015年11月4日	WO	2017000466	A1	2017年1月5日
				US	2018365843	A1	2018年12月20日
				US	10217229	B2	2019年2月26日
CN	109035343	A	2018年12月18日	无			