

新时代下基于计算机视觉的多目标结构动态位移测量方法

张冬梅

山西科技学院大数据与计算机科学学院, 山西 晋城 048000

摘要: 随着新时代工程结构的日益复杂和对安全性要求的提高, 多目标结构动态位移测量成为了关键的研究领域。传统的接触式和非接触式传感器存在安装复杂、易受环境影响等局限性, 而基于计算机视觉的方法提供了非接触、精度高、可同时处理多个目标的优势。为了解决现有方法的不足, 本文提出了一种优化的多目标结构动态位移测量方法, 该方法融合了多种特征提取和跟踪算法, 可提升测量的精度与鲁棒性。实验结果表明, 所提方法在多个振动模式下表现出显著的精度优势, 且能够实时有效处理复杂环境下的目标位移, 此研究对相关领域的实际应用具有重要的意义。

关键词: 计算机视觉; 多目标结构; 动态位移测量; 优化方法

A Method for Dynamic Displacement Measurement of Multi-target Structures Based on Computer Vision in the New Era

Zhang,Dongmei

College of Big Data and Computer Science, Shanxi University of Science and Technology, Jincheng, Shanxi, 048000, China

Abstract: With the increasing complexity of engineering structures and the growing demand for safety in the new era, the measurement of dynamic displacement of multi-target structures has become a crucial research area. Traditional contact and non-contact sensors have limitations such as complex installation and vulnerability to environmental influences. In contrast, methods based on computer vision offer the advantages of being non-contact, highly accurate, and capable of handling multiple targets simultaneously. To address the deficiencies of existing methods, this paper proposes an optimized method for dynamic displacement measurement of multi-target structures. This method integrates multiple feature extraction and tracking algorithms, which can improve the accuracy and robustness of the measurement. Experimental results show that the proposed method exhibits significant accuracy advantages under multiple vibration modes and is capable of effectively processing the target displacements in complex environments in real-time. This research holds great significance for practical applications in related fields.

Keywords: Computer vision; Multi-target structures; Dynamic displacement measurement; Optimized method

DOI: 10.62639/sspips13.20250204

一、绪论

在新时代, 随着工程结构的日益复杂和对安全性要求的不断提高, 多目标结构动态位移测量成为了一个重要的研究领域。传统的位移测量方法如接触式传感器存在安装复杂、易受环境影响等问题, 而基于计算机视觉的测量方法具有非接触、高精度、可同时测量多个目标等优势, 为多目标结构动态位移测量提供了新的解决方案^[1]。本研究的目标是提出一种优化的基于计算机视觉的多目标结构动态位移测量方法, 并通过实验验证其有效性。

二、基于计算机视觉的多目标结构动态位移测量相关理论与方法

(一) 传统位移测量方法回顾

传统的位移测量方法主要包括接触式传感器和非接触式传感器, 其中, 应变片、位移计等接触式传感器需要安装在结构上, 会对结构产生影响, 且安装和维护成本较高。而激光干涉仪、雷达等非接触式传感器设备昂贵, 操作复杂, 且受环境因素影响较大。

(二) 计算机视觉测量方法分类及原理

1. 基于特征点的方法

基于特征点的方法通过提取图像中的角点、边缘点, 在不同帧之间进行匹配, 计算出目标的位移。常用的特征点提取算法有 SIFT、SURF 和 ORB。

2. 基于光流的方法

基于光流的方法通过计算图像中像素点的运动速度, 即光流场, 来确定目标的位移, 常用光流算法包括 Lucas-Kanade 算法和 Horn-Schunck 算法。

3. 基于深度学习的方法

基于深度学习的方法利用深度神经网络对图像进行处理, 直接预测目标的位移。这种方法具有较高的精度和鲁棒性, 但需要大量的训练数据和计算资源。

(三) 常用计算机视觉库及相关函数应用

常用的计算机视觉库有 OpenCV、Matlab Vision Toolbox, 这些库提供了特征点提取、光流计算、图像匹配等图像处理和分析函数, 可以方便地应用于多目标结构动态位移测量。

三、新时代下多目标结构动态位移测量面临的挑战与应对思路

(一) 干扰环境影响分析

在实际应用中, 基于计算机视觉的多目标结构

(稿件编号: IPS-25-4-1027)

作者简介: 张冬梅 (1995-), 女, 汉族, 山西晋城人, 学历: 研究生, 职称: 助教, 从事计算机视觉和图像处理。

动态位移测量会受到光照变化、噪声、遮挡等干扰环境因素的影响。这些因素会导致图像质量下降, 影响测量精度^[2]。

(二) 现有方法的局限性剖析

现有基于计算机视觉的多目标结构动态位移测量方法在处理复杂场景、多目标跟踪、实时性等方面还存在一些局限性。例如, 基于特征点的方法在特征点提取和匹配过程中容易出现错误, 基于光流的方法在处理大位移和光照变化时效果不佳, 基于深度学习的方法需要大量的训练数据和计算资源。

(三) 创新思路与方法融合策略

为了克服现有方法的局限性, 提高测量精度和鲁棒性, 可以采用以下创新思路和方法融合策略:

1. 融合多种特征提取算法, 提高特征点的稳定性和准确性

SIFT、SURF 和 ORB 等特征提取算法对旋转、尺度变化具有较强的适应能力, 已经广泛应用于目标识别和跟踪。然而, 在实际应用中, 单一特征提取算法可能会受到光照变化和噪声干扰的影响, 结合多种特征提取算法, 可以弥补各算法在特定环境下的不足^[3]。

2. 结合光流和深度学习方法, 提高对大位移和复杂场景的适应能力

光流估计是一种常用的运动分析方法, 但在大位移场景下可能会遇到精度不足的问题。为此, 近年来的研究提出了将光流与深度学习结合的策略, 利用深度学习网络学习图像的运动信息, 可以有效克服光流算法的局限性。该融合策略能使得算法在面对快速位移和复杂场景时, 仍然能够保持较高的精度和稳定性, 特别是在动态环境下的目标跟踪中具有较强的优势。

3. 采用多相机协同测量, 提高测量的精度和可靠性

传统的单摄像头系统虽然简单, 但往往容易受到视角和遮挡的影响, 限制了其测量精度。使用多个相机协同工作, 可以从不同角度捕获更多的目标信息, 提高测量精度和可靠性。多相机协同测量不仅能够减少单一视角下的误差, 还能利用三维重建等技术增强场景理解, 进一步提升目标跟踪与位移计算的精度。

四、基于计算机视觉的多目标结构动态位移测量新方法构建

(一) 新方法整体架构设计

提出的新方法主要包括图像采集、特征提取、目标跟踪、位移计算和结果输出等模块。图像采集模块采用多个相机同时拍摄结构的不同角度, 以获取更全面的信息。特征提取模块融合多种特征提取算法, 提取稳定的特征点。目标跟踪模块采用基于深度学习的方法, 实现对多个目标的实时跟踪。位移计算模块根据特征点的匹配结果和相机参数, 计算出目标的位移。结果输出模块将测量结果以可视化的方式展示出来。

(二) 关键算法实现步骤

1. 特征提取算法实现

在目标检测与跟踪中, 常用的特征提取算法

包括 SIFT (尺度不变特征变换)、SURF (加速稳健特征) 和 ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF)。这些算法在识别图像中的关键点后, 可提取图像的特征。

SIFT 具有较高的计算成本, 但能在尺度和旋转变换下保持稳定, 适用于高精度需求的场景。相较于 SIFT, SURF 算法更快, 并且同样具有较强的尺度和旋转不变性, 适用于对实时性有较高要求的应用。ORB 是一个高效且不受专利限制的特征提取算法, 速度较快, 但对于极端的图像变换, 特征检测的表现不如 SIFT 和 SURF。

在特征提取完成后, 接下来便是进行特征点的匹配, 常用的匹配算法有暴力匹配和 FLANN (快速最近邻搜索库) 匹配, 前者通过计算所有特征点的距离进行匹配, 后者则以过更高效的搜索策略实现快速匹配。

2. 目标跟踪算法实现

在目标跟踪方面, 基于深度学习的方法近年来取得了显著进展。常见的跟踪算法包括 Siamese Network 和 Tracking-by-Detection, 这些方法可以对深度神经网络进行训练, 使系统能够学习和提取目标的特征表示, 从而在多个帧中准确跟踪目标。

Siamese Network 使用双重卷积神经网络架构对图像对进行训练, 从而在目标跟踪中进行匹配, 具有较强的抗干扰能力。Tracking-by-Detection 主要是将目标检测与目标跟踪相结合, 随后在每一帧中进行目标检测, 再通过滤波器关联来实现多目标的准确跟踪。

3. 位移计算算法实现

根据特征点的匹配结果和相机参数, 采用三角测量原理计算出目标的位移。具体步骤包括: 第一, 计算相机的内参和外参; 根据特征点的像素坐标, 计算出其在相机坐标系下的坐标; 第二, 根据不同相机之间的相对位置关系, 计算出目标在世界坐标系下的坐标; 最后, 比较不同帧之间目标的坐标, 计算出目标的位移。

(三) 多目标识别与跟踪机制

为了实现对多个目标的精准识别和连续跟踪, 本研究采用了以下机制, 并结合具体应用需求进行了优化:

1. 目标检测

在多目标动态位移测量系统中, 首先需要对结构上的多个目标进行检测, 这些目标可能是结构的不同部位或标记物。在此过程中, 我们采用了基于深度学习的 YOLO (You Only Look Once) 和 SSD (Single Shot MultiBox Detector) 算法来实现高效的目标检测。

我们使用了 YOLOv4 模型, 该模型能够在单次前向传播中同时检测出多个目标, 并给出它们的边界框和类别。由于 YOLO 的实时性较好, 适合处理复杂环境下的大量目标检测任务, 可以在不同的结构图片中快速检测目标位置, 为后续的动态位移计算提供基础数据。

SSD 主要用于处理不同尺度的目标检测, 在一些图像中可能存在不同尺寸目标的情况, 此时可使用 SSD 准确地检测出目标的位置和类别, 提升检测的完整性。

2. 目标跟踪

在目标检测完成后，为了确保在多帧图像之间能够持续跟踪每个目标，我们采用了 DeepSORT 跟踪算法。该算法结合了目标的外观特征和运动特征进行深度学习匹配，能够在实时性要求较高的环境中，对多个目标进行精准追踪。在多目标位移测量系统中，我们利用 DeepSORT 对多个目标进行持续跟踪，即使在目标间相互接近、遮挡或者快速运动的情况下，也能准确区分并保持目标的身份不变。

3. 目标识别

为了在多目标跟踪中区分不同的目标，特别是当目标之间形态相似或处于相同类别时，我们引入了 SVM (支持向量机) 和 KNN (K 最近邻) 算法进行目标识别。

其中，SVM 能够对目标的特征数据进行训练，并有效区分不同的目标。我们在跟踪过程中结合纹理、形状等目标视觉特征以及速度、加速度等运动特征，将其映射到高维空间，增强了目标识别的准确性。当目标检测和跟踪过程中出现目标外观变化或遮挡时，KNN 帮助我们基于目标的历史位置和外

五、实验验证与结果分析

(一) 实验模型搭建

为了验证提出的新方法的有效性，我们搭建了一个多目标结构动态位移测量实验平台，该平台由以下几个关键组件组成：

表 1 试验平台关键组件

组件	功能
振动台	用于模拟结构在不同频率和幅度下的振动
多个相机	使用三个高清相机，从不同角度拍摄结构的图像
数据采集系统	采集振动台的加速度信号，采样频率为 1000Hz
计算机	用于处理采集到的图像和加速度信号

(二) 实验过程及数据采集

实验的具体流程如下：

1. 目标设置：将标记、物体或设备等多个目标放置在振动台上，每个目标上都标记有独特的特征点，确保在图像处理阶段可以进行准确的目标识别和跟踪。

2. 振动控制：使用振动台控制不同频率和幅度的振动，振动台在实验中设置了不同的振动模式，以测试新方法在各种振动环境下的稳定性和鲁棒性。

3. 图像采集与加速度信号采集：在实验过程中，多个相机同步拍摄振动过程中结构的实时图像，同时数据采集系统实时记录振动台的加速度信号。

4. 数据传输与处理：采集到的图像数据和加速度信号通过传输系统发送到计算机，计算机端运行图像处理算法对图像进行特征点提取、匹配、目标跟踪，并结合加速度数据计算目标的位移。

(三) 结果对比与分析

为了评估新方法的性能，我们将其与传统的位移测量方法进行了对比，重点分析以下几个性能指标：

1. 测量精度

新方法在动态位移测量中的精度明显优于传统方法。在不同振动频率下，新方法的误差在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内，而传统方法的误差则高于 $\pm 2\text{mm}$

。具体数据如下表 2 所示：

表 2 测量精度试验结果

振动频率 (Hz)	新方法测量误差 (mm)	传统方法测量误差 (mm)
1	0.48	2.3
5	0.52	2.6
10	0.49	3.1

2. 鲁棒性

新方法在不同振动幅度下依然能够稳定地进行目标跟踪和位移计算。相比之下，传统方法在振动幅度较大时会出现较大误差，甚至无法继续进行测量。下表 3 总结了新方法与传统方法在不同振动幅度下的鲁棒性表现：

表 3 鲁棒性试验结果

振动幅度 (mm)	新方法鲁棒性	传统方法鲁棒性
± 10	高	中
± 30	高	低
± 50	高	极低

3. 实时性

新方法在实时性方面表现优越。在对比传统激光位移传感器和光电编码器时，新方法能够以 30 FPS 的速度实时处理每帧图像，并进行动态位移计算。相比之下，传统方法的实时处理速度通常低于 20 FPS。下表 4 展示了不同方法的实时性对比：

表 4 实时性试验结果

测量方法	实时处理速度 (FPS)
新方法	30
传统激光传感器	18
传统光电编码器	15

实验结果表明，提出的新方法在测量精度、鲁棒性和实时性方面都具有明显优势，特别是在大振幅振动、高频振动等复杂的环境中，新方法能够保持较高的稳定性和准确性，能够满足实际工程中多目标动态位移测量的需求。

六、结论与展望

本文针对新时代下多目标结构动态位移测量的需求，提出了一种优化的基于计算机视觉的测量方法。通过融合多种特征提取算法、目标跟踪算法和位移计算算法，提高了测量精度和鲁棒性。通过实验验证了新方法的有效性，为多目标结构动态位移测量提供了一种新的解决方案。未来的研究可以从以下几个方面展开：（1）进一步提高测量精度和鲁棒性，研究更加先进的特征提取算法、目标跟踪算法和位移计算算法；（2）拓展应用领域，将新方法应用于桥梁、高层建筑等更多类型的结构动态位移测量中；（3）结合加速度计、应变计等其他传感器技术，实现多传感器融合测量，提高测量的可靠性和准确性；（4）开发更加智能化的测量系统，实现自动化测量和数据分析，提高测量效率和精度。

参考文献：

[1] 郑阳. 基于计算机视觉的多目标结构动态位移测量方法[J]. 湖南交通科技, 2024, 50 (03): 153-157.
[2] 王辉. 复杂动态场景下视频目标分割方法研究[D]. 北京交通大学, 2023.
[3] 蒲玲玲. 基于深度学习的高速公路车辆跟踪与车速检测技术研究[D]. 西南交通大学, 2023.