

提升建筑品质与安全：基于机器学习的玻璃幕墙高精度平整度与裂痕一体化检测系统

玻璃幕墙研究小组：陈柏熙、黄景胤、王雷、袁艺铭

引言

随着城市建筑的不断发展，玻璃幕墙被广泛运用于城市高层建筑中，具有良好的美观性，透光性以及隔音隔热功能。然而，在传统的人工玻璃幕墙安全检测中，主要依赖水准仪、钢尺、经纬仪等测量工具，易受到环境因素影响造成较大误差，且效率低下。随着光学技术发展，激光扫描测量逐步应用于幕墙施工误差检测中，虽然测量精度较高，但是仍存在成本高，数据处理复杂的问题。

本项目旨在通过无人机拍摄玻璃幕墙图片，基于计算机视觉与机器学习，识别玻璃幕墙的表面缺陷，包括不平整和自爆裂痕。传统的视觉检测技术往往难以处理反射带来的干扰，基于偏振技术和强度反射补偿消除反射，在本项目中，我们将通过训练深度卷积神经网络，实现玻璃幕墙图像中反射层与透射层的自动分离。利用该模型，可有效消除环境反射干扰，为后续的平整度检测与裂痕识别提供清晰、可靠的输入图像。接着从图像中提取特征向量，计算各个点之间的匹配度量，再将匹配度量较低的点进行插值修正，结合相机标定参数，将像素坐标转换为空间坐标，最后与设计模板对比分析形变。

本项目使用无人机多角度全面拍摄，在保证计算可靠性的同时，利用无人机的灵活性和高效性，能够快速获取建筑幕墙不同角度的高质量图像，从而减少了人工检测的局限性，降低检测成本和时间开销。计算机视觉技术和深度学习模型，可以自动提取图像中的缺陷特征，实现对复杂环境下幕墙表面不平整和裂痕的精准识别。这样既优化了检测效率，又提升了检测精度，减少了人为误差的干扰，为大规模建筑幕墙的智能检测提供了可行的解决方案。

在拍摄玻璃幕墙照片时，极易受到反射与光照干扰，使计算特征向量和匹配度量出现误差，在专利《基于计算机视觉的玻璃幕墙施工误差检测方法》中，提出使用偏振成像与反射补偿消除反射，减小影响，在本项目中，我们将尝试引入机器学习，训练 perceptual-reflection-removal 模型，将图像中反射层与透射层的自动分离，进一步消除环境反射带来的影响。此外，我们还将探索归一化技术，通过对光照变化的补偿来减轻环境光照变化对图像特征提取的影响，进一步提高检测的鲁棒性和精度。

客户需求

本项目的主要客户是建筑施工企业和建筑安全检测机构，他们需要一个高效、自动化的系统来检测玻璃幕墙的施工误差（如不平整和裂缝），以确保建筑安全并降低人工检测的误差和成本。次要利益相关者包括建筑设计公司（需验证设计与实际施工一致性）、政府监管部门（关注建筑安全监督）、无人机与检测设备供应商（希望推广其设备），以及科研机构（关注技术创新）。所有相关方的目标是希望系统能够

快速、准确地检测幕墙质量，消除光照与反射干扰，提高施工质量控制的精度，同时提供可视化的检测报告与误差分析，确保建筑物符合设计与安全标准。

用户故事：建筑安全检测工程师希望系统能够自动识别玻璃幕墙的不平整与裂缝，并生成标准化检测报告；建筑公司负责人希望系统能自动生成检测报告并以可视化格式导出，便于质量评估与决策；项目经理需要系统具备空间误差分析与可视化功能，以便直观评估幕墙整体平整度。

项目目标

本项目旨在针对当前玻璃幕墙检测过程中存在的人工检测效率低、误差大以及反射干扰严重等问题，探索并验证一种基于无人机影像与计算机视觉技术的玻璃幕墙智能检测原型方法。

鉴于本项目仍处于测试与开发阶段，本阶段的将实现玻璃自爆缺陷的自动识别，并探索幕墙不平整度的检测与分析方法。项目目标在于通过算法验证与原型系统搭建，为未来实现全面的幕墙施工误差检测提供技术基础与可行性验证。

本系统的目标在于：

- 提升检测自动化程度：利用无人机采集幕墙图像，减少人工操作；
- 验证玻璃自爆检测的可行性：通过训练卷积神经网络模型，实现玻璃表面裂痕与自爆特征的识别；
- 尝试不平整度检测：探索基于图像特征匹配和深度估计的空间误差计算方法；
- 改进图像质量：研究反射消除与光照归一化方法，为后续特征提取提供更清晰的图像输入；
- 提供可视化输出：生成直观的检测结果显示界面，便于观察模型检测效果。

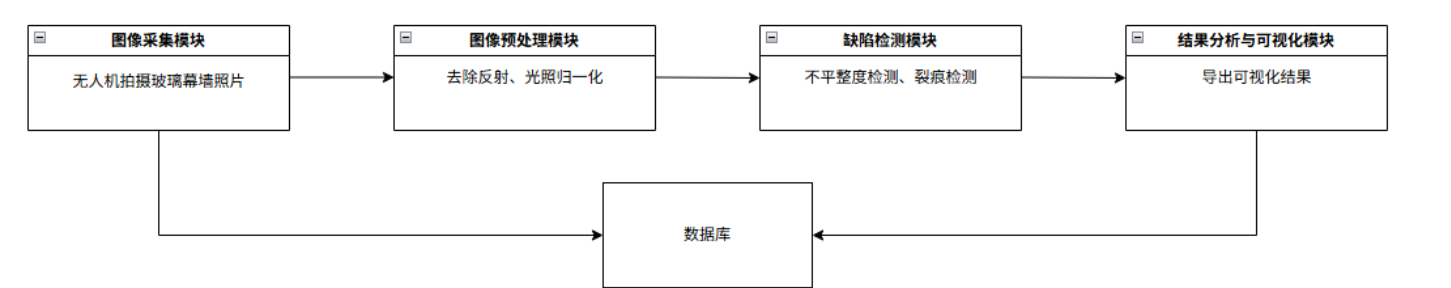
在项目开发与测试过程中，我们与指导教师进行了多次探讨，收集到了对无人机检测系统可行性和实际需求的反馈，并且将初期准备工作聚焦于数据集的整理和反射成像的提取或消除，继续探索不平整度的计算方法和可行性。

项目的潜在外部客户包括：

- 建筑施工企业：需要检测幕墙施工误差（如不平整与裂缝），确保施工质量；
- 建筑安全检测机构：希望通过自动化检测提升检测效率与准确率；
- 建筑设计公司与监管部门：需验证幕墙施工是否符合设计与安全规范。

本项目首先需要实现检测玻璃幕墙表面缺陷的准确性，在此基础上，提升检测的效率并降低成本。最后与传统测量方法进行对比，从测量准确性、可靠性、效率和成本等方面检验本项目是否成功。

系统描述



解决方案

本项目通过无人机拍摄玻璃幕墙样本，通过模型训练消除反射，将样本的像素坐标转换为实际三维坐标，建模并计算不平整度，最后可视化。

本项目将使用如下技术：

- 卷积神经网络（CNN）：用于处理和分析图像，识别玻璃幕墙表面的裂痕、缺陷等特征。深度卷积神经网络能够从图像中自动提取复杂的特征，从而识别自爆裂痕与其他表面缺陷。
- PyTorch / TensorFlow：常见的深度学习框架，支持卷积神经网络模型的训练和优化。
- OpenCV：用于图像处理，特别是在图像预处理（如去噪、增强、边缘检测）以及特征提取等方面，优化图像输入。
- Perceptual-Reflection-Removal模型：使用深度学习训练模型消除图像中的反射层，恢复实际的玻璃表面特征。这一步能有效减少环境光照和反射带来的干扰，提高后续分析的精度。
- 特征匹配与深度估计：利用计算机视觉技术通过图像中的特征点进行匹配，计算不同视角下的空间误差，从而推算出玻璃幕墙的平整度。
- 3D建模与空间坐标转换：利用相机标定技术，结合像素坐标与空间坐标之间的映射关系，实现三维重建和误差计算。

测试方法：

- 在不同光照强度、天气条件和不同建筑背景下，测试反射消除模型的性能；
- 选取包含已碎裂与未碎裂的玻璃幕墙样本，测试系统是否能正确识别并标注裂痕区域；
- 使用标准化幕墙样本（具有已知平整度偏差的板块）作为参考，验证系统计算出的空间误差是否与真实数据一致；
- 测试系统在不同分辨率和数据量下的处理速度与响应时间；
- 由建筑检测工程师或学生用户对系统界面进行试用，评估操作简易性与可读性。

项目管理

本项目将采用敏捷开发过程，按两周为一个迭代周期推进。我们将建立一个变更日志，记录项目中的所有重要修改，每条日志包含日期、变更描述、动机和变更影响，以确保项目进展透明、可追溯。在即将到来的迭代中，我们计划实现一个最小可工作系统，其功能包括图像采集、基础的反射去除、裂痕检测与结果可视化，用于验证系统的基本流程和模型可行性。未来的功能愿望清单包括自动化批量检测、无人机实时分析、报告生成与结果追踪等高级特性。团队将根据成员的专长分工，包括数据搜集、模型训练、算法分析、功能测试，定期召开每周会议汇报进度、协调任务并解决技术问题，确保项目稳步推进与持续优化。

团队

本项目的参与人员都是同济大学计算机科学与技术学院软件工程专业大三学生，由黄杰老师指导。团队成员具备扎实的数据库开发与设计经验，均曾参与大型项目的架构设计与开发工作，拥有丰富的实践背景。此外，团队成员还选修了《人工智能导论》课程，对机器学习领域有一定理论基础。部分成员有过语音识别与图像识别模型的训练与优化实践，具备一定的项目经验和技術积累。

本项目中，由陈柏熙同学负责图像预处理和计算匹配度量，黄景胤同学负责空间坐标转化与误差分析，王雷同学负责前端与结果可视化，袁艺铭同学负责数据收集与功能测试。

约束与风险

本项目目前处于理论研究与方案设计阶段，尚未形成可验证的实践成果，因此在系统实现与性能评估过程中可能面临一定的不确定性。同时，本项目尝试使用机器学习方法对玻璃幕墙图像中的反射进行消除，这是一种创新性的研究方向，现有公开数据与成熟算法较少。模型可能面临训练数据不足、特征提取困难或泛化能力不稳定等问题。此外，反射与背景内容的高度相似性可能导致算法收敛困难或误判率较高。

总体而言，项目的主要风险集中在数据资源与模型可行性方面。团队将通过阶段性原型测试、数据集逐步扩充、算法多方案对比以及持续的文献调研来降低风险，确保研究具有科学性与可实施性。