

# 基于无人机航测的公路施工质量智能检测系统开发

李 波

乌兰察布市金达公路建设开发有限责任公司 内蒙古 乌兰察布 012000

**摘要：**随着公路建设事业的快速发展，对公路施工质量检测的效率和精度提出了更高要求。传统的人工检测方式存在效率低、成本高、主观性强等问题，难以满足现代化公路建设的需求。本文开发了一种基于无人机航测的公路施工质量智能检测系统，该系统利用无人机获取公路施工区域的高清影像数据，通过影像处理、三维建模、特征提取等技术，实现对公路施工质量指标的自动化检测与分析。研究结果表明，该系统能够快速、准确地检测出公路施工中的平整度、压实度、厚度等质量问题，提高了检测效率和精度，为公路施工质量控制提供了有力的技术支持。

**关键词：**无人机航测；公路施工；质量检测；智能系统；影像处理

## 1 引言

公路作为交通运输的重要基础设施，其施工质量直接关系到行车安全和使用寿命。近年来，随着我国公路建设规模的不断扩大，施工质量检测工作面临着越来越大的挑战。传统的公路施工质量检测主要依靠人工现场测量，如使用水准仪、全站仪等设备进行平整度、高程等参数的检测，这种方式不仅耗时耗力，而且检测范围有限，容易受到人为因素的影响，导致检测结果的准确性和可靠性降低。

无人机航测技术作为一种新兴的测绘手段，具有机动灵活、高效快速、成本较低、获取数据全面等优点，在国土资源调查、城市规划、工程建设等领域得到了广泛应用。将无人机航测技术与智能检测算法相结合，开发公路施工质量智能检测系统，能够实现对公路施工质量的全方位、高精度、自动化检测，有效解决传统检测方式存在的问题，对于提高公路施工质量、降低工程成本、保障交通畅通具有重要的现实意义。

## 2 系统总体设计

### 2.1 系统设计目标

本系统的设计目标是实现对公路施工质量的智能化检测，具体包括以下几个方面：

能够快速获取公路施工区域的高清影像数据，并进行预处理和分析。

实现对公路施工中的关键质量指标，如平整度、压实度、厚度、宽度等的自动化检测。

具备数据存储、管理和分析功能，能够生成直观的检测报告，为施工管理人员提供决策支持。

系统具有良好的稳定性、可靠性和可扩展性，能够适应不同类型公路施工质量检测的需求。

### 2.2 系统总体架构

基于无人机航测的公路施工质量智能检测系统主要由数据采集层、数据处理层、数据分析层和应用展示层四个部分组成。

数据采集层主要负责获取公路施工区域的影像数据和相关辅助信息，主要设备包括无人机平台、遥感传感器、GPS定位系统等。无人机平台搭载高分辨率相机或激光雷达等传感器，按照预设的航线进行飞行拍摄，获取公路施工区域的高清影像数据；GPS定位系统用于获取无人机的位置和姿态信息，为影像数据的拼接和定位提供支持。

数据处理层主要对采集到的影像数据进行预处理和三维建模。预处理包括影像校正、去噪、拼接等操作，以提高影像数据的质量；三维建模是利用计算机视觉技术，将二维影像数据转换为三维点云模型或三维网格模型，实现对公路施工区域的三维重建。

数据分析层是系统的核心部分，主要利用机器学习、计算机视觉等智能算法对三维模型和影像数据进行分析，提取公路施工质量指标。通过对三维模型的分析，可以获取公路的高程、坡度、平整度等参数；通过对影像数据的分析，可以识别路面裂缝、坑槽、积水等缺陷。

应用展示层主要实现检测结果的可视化展示和信息管理。通过图形用户界面（GUI）将检测结果以图表、图像等形式直观地展示给用户，同时提供数据查询、统计分析、报告生成等功能，方便施工管理人员对公路施工质量进行评估和决策。

## 3 系统关键技术

### 3.1 无人机航测数据采集技术

航线规划是无人机航测数据采集的关键环节，直接影响到影像数据的质量和采集效率。在进行航线规划

时，需要根据公路的走向、长度、宽度以及施工区域的地形地貌等因素，确定无人机的飞行高度、飞行速度、航向重叠度和旁向重叠度等参数。一般来说，飞行高度越高，拍摄范围越大，但影像分辨率越低；航向重叠度和旁向重叠度越高，影像拼接的精度越高，但采集的数据量也越大。因此，需要根据实际需求进行合理的航线规划，在保证影像质量的前提下，提高采集效率。

无人机搭载的传感器类型直接影响到获取的数据质量。常用的传感器包括高分辨率光学相机、多光谱相机、激光雷达等。高分辨率光学相机能够获取清晰的彩色影像，适用于公路表面缺陷的检测；多光谱相机可以获取地物的光谱信息，用于分析公路材料的成分和性能；激光雷达能够快速获取高精度的三维点云数据，适用于公路高程、坡度等参数的检测。在实际应用中，应根据检测目标和需求选择合适的传感器。

### 3.2 影像处理与三维建模技术

影像预处理是提高影像数据质量的重要步骤，主要包括影像校正、去噪和拼接等操作。影像校正用于消除由于相机镜头畸变、大气折射等因素引起的影像变形；去噪用于去除影像中的噪声，提高影像的清晰度；影像拼接是将多张重叠的影像拼接成一张完整的全景影像，为后续的三维建模和分析提供基础。

三维建模是利用计算机视觉技术将二维影像数据转换为三维模型的过程。常用的三维建模方法包括基于运动恢复结构（SfM）的方法和基于立体匹配的方法。基于SfM的方法通过对多张影像的特征点进行匹配和跟踪，计算出相机的内外参数和三维点坐标，从而构建三维点云模型；基于立体匹配的方法通过对左右两张影像进行匹配，获取视差图，进而生成三维模型。本系统采用基于SfM的方法进行三维建模，该方法具有自动化程度高、建模精度高等优点。

### 3.3 质量指标检测算法

平整度是衡量公路施工质量的重要指标之一，反映了公路表面的平整程度。本系统采用基于三维点云数据的平整度检测算法，通过计算公路表面点云数据的高程偏差来评估平整度。具体步骤如下：

- (1) 从三维点云模型中提取公路表面的点云数据；
- (2) 对提取的点云数据进行滤波处理，去除噪声点和异常点；
- (3) 采用最小二乘法拟合公路表面的理想平面；
- (4) 计算每个点云数据到理想平面的距离，即高程偏差；
- (5) 根据高程偏差的统计结果，评估公路的平整度。

压实度是指土或其他筑路材料在压实后的干密度与标准最大干密度之比，是衡量公路路基和路面压实质量

的重要指标。本系统采用基于多光谱影像的压实度检测算法，通过分析公路表面的光谱特征来评估压实度。具体步骤如下：

- (1) 获取公路施工区域的多光谱影像数据；
- (2) 对多光谱影像进行预处理，包括辐射校正、几何校正等；
- (3) 提取公路表面的光谱特征参数，如反射率、植被指数等；
- (4) 建立光谱特征参数与压实度之间的数学模型；
- (5) 利用建立的数学模型，根据多光谱影像的光谱特征参数计算压实度。

公路结构层厚度是保证公路强度和稳定性的重要因素。本系统采用基于激光雷达点云数据的厚度检测算法，通过测量公路结构层上下表面的高程差来计算厚度。具体步骤如下：

- (1) 从激光雷达点云数据中提取公路结构层上表面和下表面的点云数据；
- (2) 对提取的点云数据进行滤波和分割处理；
- (3) 分别拟合公路结构层上表面和下表面的理想平面；
- (4) 计算两个理想平面之间的距离，即公路结构层的厚度。

### 3.4 系统集成与软件开发技术

系统集成是将数据采集、数据处理、数据分析和应用展示等各个模块有机地结合起来，实现系统的整体功能。在系统集成过程中，需要解决不同模块之间的数据接口问题，确保数据的顺畅传输和共享。同时，还需要进行系统的调试和优化，提高系统的稳定性和可靠性。

本系统采用C++编程语言和Qt框架进行软件开发，实现了系统的用户界面、数据处理、分析和展示等功能。Qt框架具有跨平台性、易用性和高性能等优点，能够满足系统开发的需求。同时，还利用OpenCV、PCL等开源库实现了影像处理、三维建模和点云分析等功能，提高了开发效率。

## 4 系统功能实现

### 4.1 数据采集功能

系统的数据采集功能主要通过无人机平台实现，用户可以在系统中设置无人机的飞行参数，如飞行高度、飞行速度、航向重叠度等，并生成飞行航线。无人机按照预设的航线进行飞行拍摄，获取公路施工区域的影像数据和GPS定位信息，并将数据实时传输到地面控制系统。

### 4.2 数据处理功能

数据处理功能包括影像预处理和三维建模。用户可以将采集到的影像数据导入系统，系统自动进行影像校正、去噪和拼接等预处理操作。预处理完成后，系统采用基于SfM的方法进行三维建模，生成公路施工区域的三维点云模型或三维网格模型。

### 4.3 质量检测功能

质量检测功能是系统的核心功能，能够实现对公路施工中的平整度、压实度、厚度等质量指标的自动化检测。用户可以选择需要检测的质量指标，系统自动对三维模型或影像数据进行分析，提取相关参数，并计算出质量指标的数值。同时，系统还能够识别路面裂缝、坑槽等缺陷，并标记出缺陷的位置和大小。

### 4.4 数据管理与展示功能

数据管理功能能够对采集到的影像数据、三维模型、检测结果等进行存储和管理，用户可以方便地进行数据查询、删除、备份等操作。展示功能通过图形用户界面将检测结果以图表、图像等形式直观地展示给用户，如平整度曲线、压实度分布图、厚度剖面图等。同时，系统还能够生成检测报告，报告中包含检测项目、检测结果、分析结论等内容，为施工管理人员提供决策支持。

## 5 系统测试与应用案例

### 5.1 系统测试

为了验证系统的性能，在实验室和实际公路施工现场进行了系统测试。

在实验室中，搭建了模拟公路施工场景的测试平台，使用无人机获取测试平台的影像数据，并利用本系统进行质量检测。测试结果表明，系统对平整度、压实度、厚度等质量指标的检测误差均在允许范围内，检测精度较高。

选择某在建高速公路的一段施工路段进行现场测试，该路段全长2km，宽24m。使用无人机对该路段进行航测，获取影像数据后，利用本系统进行质量检测，并将检测结果与传统人工检测结果进行对比。对比结果表明，系统的检测效率是传统人工检测的5-10倍，检测精度与传统人工检测相当，能够满足公路施工质量检测的需求。

### 5.2 应用案例

某高速公路项目在施工过程中，采用本系统进行施工质量检测。通过无人机航测获取了该项目K10+000-K12+000路段的影像数据，利用系统进行三维建模和质量检测。检测结果显示，该路段存在部分区域平整度超标、压实度不足等问题。施工管理人员根据检测报告及时采取了相应的整改措施，如对平整度超标的区域进行重新碾压，对压实度不足的区域进行补充压实等。整改后，再次使用系统进行检测，结果表明各项质量指标均达到了设计要求，确保了该路段的施工质量。

## 6 结论与展望

### 6.1 结论

本文开发了一种基于无人机航测的公路施工质量智能检测系统，该系统集成了无人机航测技术、影像处理技术、三维建模技术和智能检测算法，实现了对公路施工质量的自动化检测与分析。系统测试和应用案例表明，该系统具有检测效率高、精度高、操作简便等优点，能够有效解决传统人工检测方式存在的问题，为公路施工质量控制提供了有力的技术支持。

### 6.2 展望

虽然本系统在公路施工质量检测中取得了较好的应用效果，但仍存在一些不足之处，需要在今后的研究中进一步改进和完善：

**提高系统的实时性：**目前系统的数据处理和分析需要一定的时间，难以满足实时检测的需求。未来可以研究更高效的影像处理和分析算法，提高系统的实时性。

**拓展检测指标：**目前系统主要针对平整度、压实度、厚度等常见的质量指标进行检测，对于一些特殊的质量指标，如路面抗滑性能、结构层强度等，还需要进一步研究和开发相应的检测算法。

**加强系统的智能化水平：**未来可以引入人工智能、大数据等技术，实现对公路施工质量的预测和预警，提高施工质量控制的主动性和前瞻性。

**降低系统成本：**目前系统所使用的无人机和传感器设备成本较高，限制了系统的广泛应用。未来可以研究低成本的无人机航测方案，降低系统的成本，提高系统的普及度。

总之，基于无人机航测的公路施工质量智能检测系统具有广阔的应用前景，随着技术的不断发展和完善，该系统将在公路建设事业中发挥越来越重要的作用。

### 参考文献

[1]咎飞翔.无人机航测在公路道路施工中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2025,(03):164-166.DOI:10.13655/j.cnki.ibci.2025.03.052.

[2]金铎,张敏,张顺,等.无人机航测技术在高速公路带状地形施工中的应用研究[J].工程技术研究,2025,10(02):204-206.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2025.02.067.

[3]南康康,郎利鹏.BIM+倾斜摄影模型在公路施工中的应用[C]//中国图学学会建筑信息模型（BIM）专业委员会.第六届全国BIM学术会议论文集.山西路桥智慧交通信息科技有限公司;山西路桥集团试验检测中心有限公司,2020:68-71.DOI:10.26914/c.cnkihy.2020.022306.

[4]罗国坤.无人机航测在公路地形测量中的应用[J].黑龙江科技信息,2016,(27):15.