

Application of Unmanned Aerial Vehicle in Detection of Super Large Bridge

Ping Zhang¹, Yongchao Wei²

¹Traffic Engineering Quality Safety Supervision Station, Chongqing

²Civil Aviation Flight University of China, Deyang Sichuan

Email: mylife001@126.com

Received: Mar. 2nd, 2018; accepted: Mar. 19th, 2018; published: Mar. 26th, 2018

Abstract

Aiming at the problem of traditional detection methods in bridge detection, the UAV detection of Wanzhou Yangtze River Bridge was brought as an example. The UAV components and working principle of bridge detection system were introduced. Based on the data acquisition, through the data processing and analysis process, a comprehensive analysis of health status of the bridge could be finally obtained. Compared with the traditional detection, the UAV detection has the characteristics of high efficiency, economy, safety and comprehensive, and can realize the bridge disease detection with intelligence, information and data visualization, which provides strong support for highway bridge maintenance.

Keywords

Bridge Detection, UAV (Unmanned Aerial Vehicle), Health Assessment

无人机在特大型桥梁检测中的运用

张平¹, 魏永超²

¹万州区交通工程质量安全监督站, 重庆

²中国民用航空飞行学院, 四川 德阳

Email: mylife001@126.com

收稿日期: 2018年3月2日; 录用日期: 2018年3月19日; 发布日期: 2018年3月26日

摘要

针对传统检测手段在桥梁检测中的问题, 以无人机检测万州长江大桥为实例, 介绍了无人机桥梁检测系

文章引用: 张平, 魏永超. 无人机在特大型桥梁检测中的运用[J]. 交通技术, 2018, 7(2): 91-97.

DOI: 10.12677/ojtt.2018.72011

统组成、工作原理, 并针对采集数据, 对后期数据处理进行了理论分析, 并最终综合分析桥梁健康状况。与传统路桥检测相比, 具有高效性、经济性、安全性和全面性等特点, 实现了桥梁病害检测的智能化、数据信息化和可视化, 为公路桥梁养护提供了有力支撑。

关键词

桥梁检测, 无人机, 健康评估

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

无人飞行器的种类较多, 其中无人多旋翼飞行器因结构简单、价格相对低廉在许多领域得到广泛应用。近年来, 国内外针对无人机在桥梁检测方面的运用开展了相关的研究工作[1]-[12], 随着无人机技术的不断发展, 无人机在桥梁检测方面取得了可喜的成就, 但对于象万州长江公路大桥这种在长江上的特大型拱桥, 由于主拱圈距离地面高、通航、风力大的无人机检测, 报道比较少。作者以万州长江公路大桥检测为实例, 提出了无人机在检测中数据处理、病害判定、定量分析方面进行了探索。

2. 检测方案

万州长江公路大桥是国家主干线上海至成都公路在重庆万州跨越长江的一座特大型公路桥梁。大桥主孔跨径 420 米, 全长 856 米, 桥面全宽 24 米, 桥高 147 米(枯水位以上)。主拱轴线为悬链线, 矢跨比 1/5, 拱轴系数 1.6。拱圈采用钢管混凝土劲性骨架外包 C60 级高强混凝土复合结构。拱圈为单箱三室截面, 箱高 7 米, 宽 16 米, 拱箱标准段顶、底板各厚 0.4 米, 腹板厚 0.3 米, 拱脚段顶、底板各厚 0.8 米, 腹板厚 0.6 米。拱上及引桥为同一孔跨贯通布置, 共 27 孔 30.668 米预应力混凝土 T 梁, 桥面连续。大桥于 1994 年 5 月开工建设, 1997 年 5 月竣工通车, 是当时世界上跨径和规模最大的钢筋混凝土拱桥。

针对本大桥的特点, 主要检查内容为结构外观裂缝、开裂破损、露筋锈蚀、支座变形等病害, 结合本桥在长江, 跨度大, 离江面高的特点, 采用高清录像为主, 定点高清图片为辅的方式, 选取了以下关键部分: 立柱四个面; 盖梁, T 梁底面; 主拱圈的底面、两个侧面。

3. 检测设备

由于本大桥位于长江上, 过往船舶多, 检测时风力达到 5 级, 在距离为 400 米的岸边操作, 在保证设备安全及拍精度的前提下, 本次无人机采用 W4 和 W6 型, 如图 1(a)、图 1(b), W4 主拍高清视频, W6 主拍高清图片。摄像机像数 4k, 相机为 2000 万像素的可变焦相机。

无人机桥梁检测系统主要由无人机、任务荷载系统、数据传输系统、地面站系统和其它设备等组成。无人机采用多旋翼无人机, 方便悬停以利于观测和数据采集。数据传输系统用于系统控制信号、检测数据的传输。地面站系统则用于实时监控无人机飞行、检查拍摄情况, 及时纠正飞行轨迹和发现桥梁明显病害。其他设备除了常规的维修保养工具外, 还包含检测结果分析处理系统。用于桥梁检测的无人机与常规航拍无人机的任务荷载系统略有不同, 前者的三轴增稳云台、高清摄像机置于飞行器上方, 航拍用云台一般布置在下方。无人机桥梁检测系统图的主要技术参数见表 1。



Figure 1. UAV model
图 1. 无人机型号

Table 1. Main technical parameters of unmanned aerial vehicle bridge detection system W6
表 1. W6 无人机桥梁检测系统主要技术参数

| 条目 | 技术参数 | 条目 | 技术参数 |
|------|---------------|------|----------------------|
| 机架 | 6 轴全碳纤维折叠机架 | 几何尺寸 | 150 × 150 × 120 (cm) |
| 飞行控制 | 增稳多轴飞控系统 | 最大速度 | 20 km/h |
| 遥控装置 | 多通道遥控器 | 控制半径 | 3 km |
| 显示器 | 12 寸显示屏 | 飞行高度 | ≤120 m |
| 图像传输 | 模拟 + 数字图传 | 控制方式 | 自主飞行/手动控制 |
| 电池 | 20,000 mAh 电池 | 动力电源 | 22.2 V 锂电池 |
| 空载重量 | 6 kg | 定位精度 | ≤1 m |
| 任务载重 | 3 kg | 起降风速 | ≤5 级 |
| 最大载重 | 5 kg | 滞空时间 | 15~20 min (载荷) |
| 挂载位置 | 上部/下部 | 云台 | 三轴云台 |

无人机桥梁快速检测系统利用无人机任意悬停的特点, 利用高清图像采集系统, 在已知位置和距离对检测对象进行局部拍照, 数据实时存储, 后期通过已知空间位置、高清照片或录像来分析病害位置和危害程度。

4. 数据处理

拍摄采用高清图片和视频, 共获取 55 GB 的数据, 高清照片 300 张, 因此有大量的数据需要后期处理, 根据拍摄需求和经验, 对数据进行了根据时间轴进行筛选, 分成三个文件夹: “筛选数据”、“原始数据”和“引用数据”, 三个文件夹的分类基本对应。“原始数据”包含所有的拍摄数据。“筛选数据”文件夹下面是对原始数据进行病害筛选后的数据, 包含“桥墩”、“盖梁”和“桥圈”三个文件夹。“引用数据”包含报告所引用的数据。

“桥墩”文件夹下面对 3、4、5、6 号桥墩进行分类, 分成四个文件夹。每个文件夹下再进一步分成两个桥墩分析分类, 每个桥墩再分为“利川侧”和“万州侧”。

“盖梁”文件夹包含 3#-7#梁, 每个梁又分为“万州侧”和“利川侧”。同时, 也加入了 t4 梁和 t5 梁的部分图片。

“桥拱”文件夹下面包含“拱圈”、“拱侧 g1”和“拱侧 g2”，其中“拱圈”为了分析方便，分为“万州侧”和“利川侧”。

文件分类结构如图 2 所示。

5. 检测结果及病害分析

根据桥梁结构，对数据进行分类分析，分别为：立柱、T 梁与拱圈三大类。对每类图片数据进行图像分析处理，得到问题数据，如图 3(a)拱圈腐蚀情况，图 3(b)为立柱表面裂纹、图 3(c)为梁表面网状裂纹情况。

之后，对分类分散数据进行整合分析，进行整个桥梁状况进行量化评估，构建危险等级描述，定义危险等级从一级★，到★★★★★五级(最危险)。

1) 病害数据分析

桥墩病害数据综合分析部分结果如表 2 所示。

桥梁位置定位图如图 4 所示，g1 和 g2 分别为桥拱的两侧视图。

图 5 为表 2 中五星病害图片，裂缝贯穿整个柱子。

桥拱的详细病害如表 3 所示。

综合分析得出，4 号和 5 号桥墩处于健康状况差，需要对问题进行及时处理，其它桥墩健康状况良好，拱圈整体健康状况良好，T 梁健康状况良好，综合分析桥梁健康状态为良。

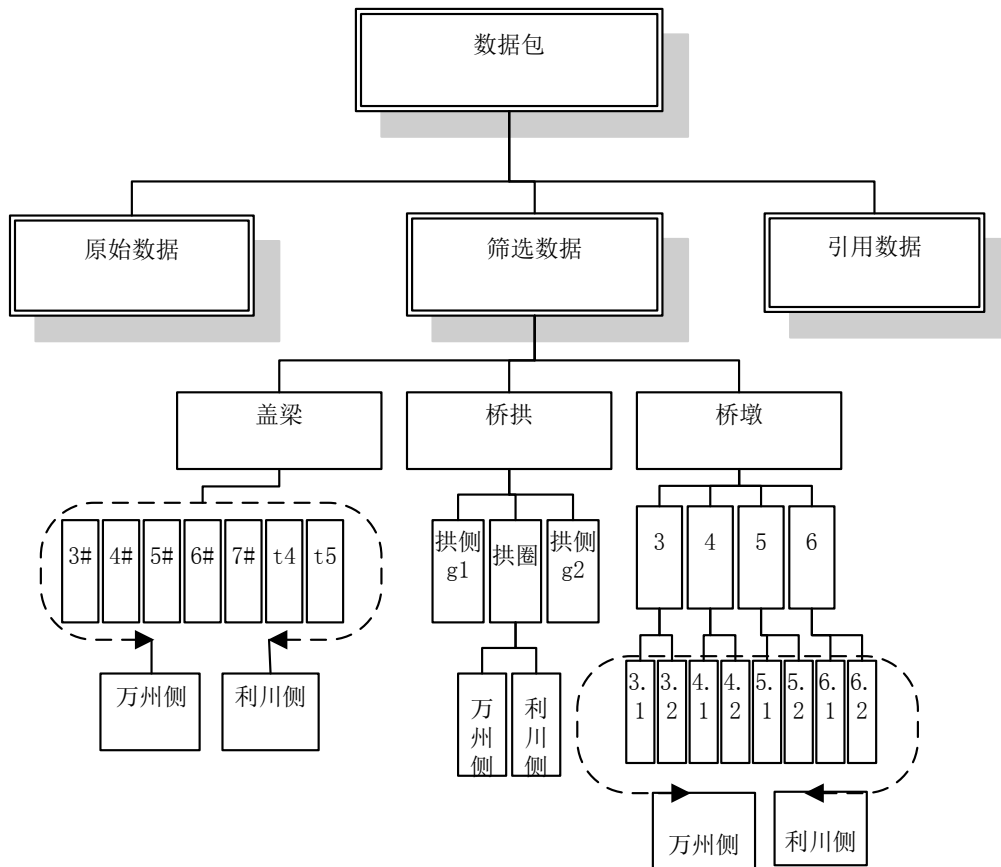


Figure 2. File classification structure diagram

图 2. 文件分类结构图

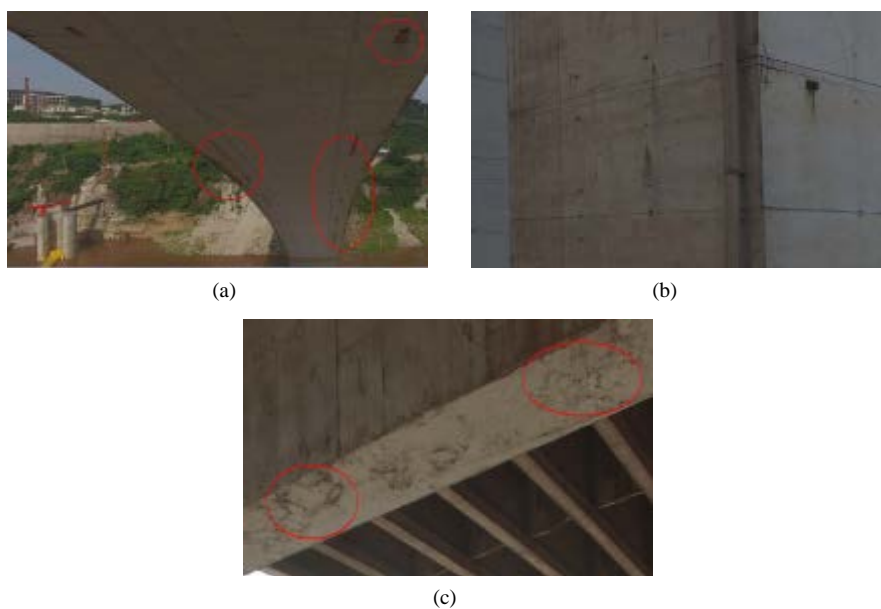


Figure 3. Bridge disease diagram
图 3. 桥梁病害图

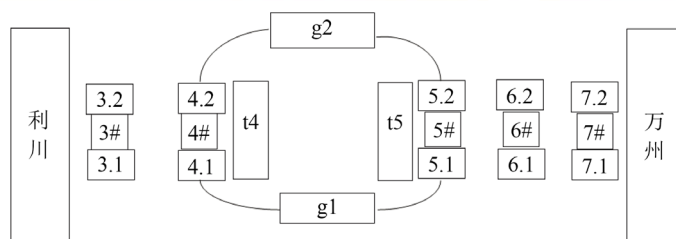
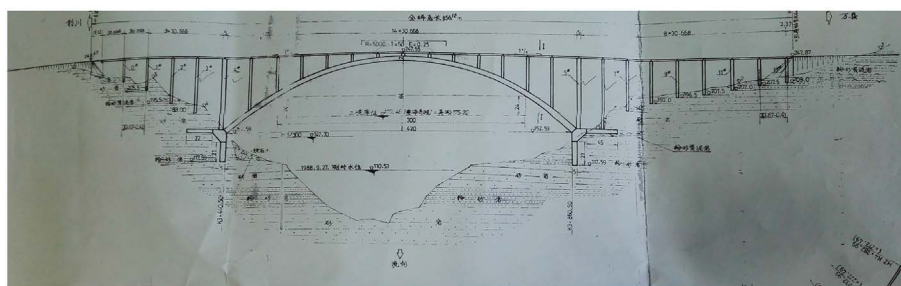


Figure 4. Position map of bridge
图 4. 桥梁位置定位图



Figure 5. Transverse surface penetrating crack
图 5. 横向贯穿裂缝

Table 2. Pier disease data
表 2. 桥墩病害数据

| 序号 | 部位 | 病害描述 | 危险等级 | 位置 (所在节号) |
|----|---------|---------------------|-------|---------------------------------|
| 1 | 4.1 号桥墩 | ① 万州侧现两处竖状裂纹 | ★ | ① 10 节 |
| | | ② 利川侧右出现八处腐蚀 | ★ | ② 1/5/7/8/10/12 节 |
| 2 | 4.2 号桥墩 | ① 万州侧现一处较长竖状裂纹 | ★★ | ① 15 节 |
| | | ② 利川侧发现四处腐蚀 | ★ | ② 2/6/14/15 节 |
| | | ③ 万州侧现一处较长竖状裂纹 | ★★★★★ | ③ 15 节 |
| | | ④ 万州侧现九处腐蚀 | ★ | ④ 1/2/5/8/9//14/19 节 |
| | | ⑤ 利川侧八处短竖状裂纹 | ★★ | ⑤ 3/5/6/7/9/10//12 节 |
| 3 | 5.1 号桥墩 | ① 左侧发现五处竖状裂纹 | ★ | ① 1/2/3/6/8 节 |
| | | ② 右侧外墙脱落 | ★ | ② 5/8/9/10/19/20 节 |
| | | ③ 左侧八处竖状裂纹 | ★★ | ③ 2/6/7/9/10/13/26 节 |
| | | ④ 右侧多处网状裂纹 | ★ | ④ 12/22/24 节 |
| 4 | 5.2 号桥墩 | ① 一处正面至侧面裂缝, 贯穿整个柱子 | ★★★★★ | ① 15 节 |
| | | ② 十余处外墙脱离腐蚀 | ★★ | ② 1/2/3/4/7/11/13/15/16/18/19 节 |
| | | ③ 六处网状短裂纹 | ★ | ③ 5/8/13/16/18/19 节 |
| 5 | 6.1 号桥墩 | ① 一处竖状裂纹 | ★ | ① 6 节 |

Table 3. Bridge disease analysis
表 3. 桥拱病害分析

| 序号 | 部位 | 病害描述 | 危险等级 |
|----|-------|-----------------|------|
| 1 | 拱圈 | 左侧出现多处腐蚀 | ★ |
| 2 | 拱侧 g1 | 几处不规则裂纹 | ★ |
| 3 | 拱侧 g2 | 四余处不规则裂纹、多处金属腐蚀 | ★ |

2) 定量分析

采集数据前, 要建立飞机数据结构模型。首先进行相机标定, 建立不同焦距 f 下的相机视场尺寸 L_f 和测量距离 d 之间的关系模型。模型公式如下:

$$L_f = k * d \quad (1)$$

后期的精确数据分析是桥梁健康状况评估的重要过程, 对前期采集及筛选的图片进行后期去图片处理, 经过分割、滤波、锐化、阈值分割以及曲线拟合等系列处理流程, 利用无人机距离数据 d 及焦距 f , 可得到详细准确的病害数据。计算如公式(2)所示。

$$s = p_s / p * L_f \quad (2)$$

其中 s 为病害尺寸, p_s 为病害像素数, p 为相机总像素数。

对于病害面积的计算, 通过图像处理, 进行后期的拟合, 拟合的形状为矩形、正方形、圆形以及三角形, 根据上面计算得到的尺寸信息, 利用形状面积计算公式, 就可以得到病害面积信息。

以 4 号桥墩的分析为例, 其中图 6(a)为剪切后的图片, 图 6(b)为后期锐化及阈值分割后图片。经过图片的处理, 后期数据分析可以得到裂纹的具体数据, 如图 6 所示, 中间有长 10.7 米的竖裂纹, 裂纹最宽部分为 2 cm。右侧部分有面积大小为 0.072 m² 的腐蚀。

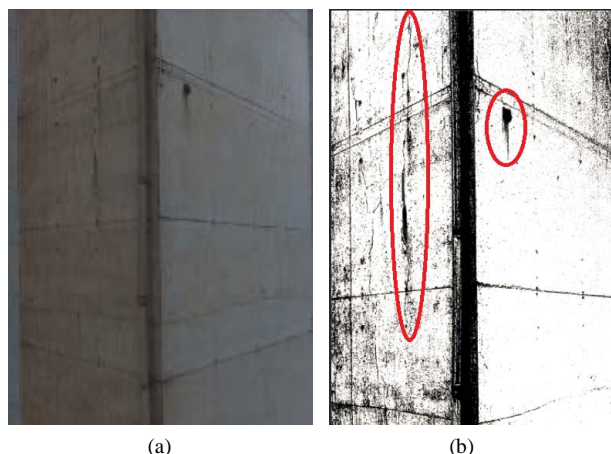


Figure 6. Picture of disease treatment
图 6. 病害处理图片示例

3) 修复措施

对混凝土结构存在裂缝, 对于宽度 $< 0.15 \text{ mm}$ 的裂缝, 建议直接封闭处理; 对于宽度 $\geq 0.15 \text{ mm}$ 的裂缝, 采用压力灌胶法进行封闭处理; 对于混凝土结构存在的破损、锈胀露筋、蜂窝麻面区域进行修补; 对于桥面铺装的裂缝、坑槽, 应及时进行修补, 尤其是拱顶处桥面铺装病害较多, 应注意。

6. 结论

采用无人机技术对特大型桥梁进行外观航拍, 再结合高清图片, 解决了传统人工检查死角的问题, 取得了预期的效果, 为大桥定期后检测分析提供客观依据。本方法效率高, 数据可追溯, 将为建立长期的大桥健康档案提供技术支撑。

参考文献

- [1] 李磊, 熊涛, 胡湘阳. 浅论无人机应用领域及前景[J]. 地理空间信息, 2010, 8(5): 7-9.
- [2] 李德仁, 李明. 无人机遥感系统的研究进展与应用前景[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39(5): 505-513.
- [3] 常德强, 黄海峰. 小型无人机在公路巡查中的应用前景展望[J]. 科技视界, 2014, 4(20): 319-320.
- [4] 晏磊, 吕书强, 赵红颖. 无人机航空遥感系统关键技术研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2005, 37(6): 67-70.
- [5] 邹长慧, 谢晓尧, 周忠发. 无人机低空航拍遥感系统在贵州高原山区的应用前景探讨[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2011, 10(2): 24-28.
- [6] 郭复胜, 高伟. 基于辅助信息的无人机图像批处理三维重建方法[J]. 自动化学报, 2013, 39(6): 834-845.
- [7] 杨润书, 吴亚鹏, 李加明. 无人机航摄系统的特点及应用前景探讨[J]. 地矿测绘, 2011, 5(1): 8-10.
- [8] 毕凯, 李英成, 丁晓波. 轻小型无人机航摄技术现状及发展趋势[J]. 测绘通报, 2015, 17(3): 27-31.
- [9] 史华林. 无人机航测系统在公路带状地形测量中的应用[J]. 测绘通报, 2014, 9(6): 60-62.
- [10] 陈显龙, 陈晓龙, 赵成. 无人机在路桥病害检测中的设计与实现[J]. 测绘通报, 2016, 7(4): 79-82.
- [11] 程海根, 王前. 水流作用下桥梁桩基础冲刷磨损数值模拟[J]. 华东交通大学学报, 2017, 4(34): 22-28.
- [12] 王建宏, 熊朝华. 无人机编队飞行的自适应控制设计[J]. 华东交通大学学报, 2016, 1(33): 1-8.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3431，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojtt@hanspub.org