

## 《作品报告》

作品名称：基于无人机视觉的裂缝检测系统

创作人：高旭敏 雷斌 徐鹏程 易文 郑超学 李看

电子邮箱：[comin15071460998@gmail.com](mailto:comin15071460998@gmail.com)

## 1 简要描述

本次作品结合图像处理和计算机视觉知识设计了一套有效的无人机裂缝检测识别系统。在无人机上面搭载无线图传，向电脑端传回视频流。电脑端接收到视频流之后使用 opencv 进行一系列的图像处理操作可以精确的检测出裂缝，再此基础上提出一种 SVM 算法对裂缝进行识别。最后，提取裂缝轮廓两侧的坐标组可以计算出裂缝的最大宽度和面积。

## 2 作品要解决的问题及目前技术状况

随着城市化的快速发展，我们需要建设大量的基础设施，如房屋、道路、桥梁等。但在施工完成后，随着时间的推移，这些基础设施的表面出现了许多裂缝。这些裂缝的存在会影响基础设施的使用寿命。在我国每年因为房屋、道路、桥梁等基础设施坍塌造成死亡人数高达 87.43 万人，经济损失可达 300 多亿，因此，定期对一些基础设施上的裂缝进行检测，可以延长基础设施的使用寿命，避免因房屋、桥梁倒塌而造成巨大的生命和财产损失。目前大多采用的是人工对裂缝检测，如图 1 分别通过脚手架和吊车对桥梁裂缝进行检测。



图 1 人工对裂缝检测图

采用人工对裂缝进行检测的方法效率低、误差大且危险度高，针对这些问题，本次作品将图像处理和计算机视觉的技术应用到裂缝检测和宽度测量中，首先通过获取桥梁或房屋或道路裂缝的图片，然后通过一系列图像处理操作检测出裂缝并计算出裂缝的最大宽度，整个检测过程由电脑端所设计的程序自动完成，使得裂缝检

测效率提高且测试误差变小,同时设计了一整套无人机裂缝检测系统,可以远程操作完成裂缝的检测,从而大大降低了人工裂缝检测的危险度。

### 3 作品详细描述

### 3.1 实现方案及原理

硬件部分主要分为下位机系统和上位机系统两部分。下位机系统主要是四旋翼飞行器，主要包括主控器 MCU、超声波、无线图传发射模块、无线数传发射模块、舵机云台等。上位机系统主要包括 PC 机和无线图传接收模块、无线数传接收模块，其中 PC 端通过图传接收模块和数传接收模块接收四旋翼无人机传输回的视频流和超声波高度信息。其整体硬件系统如图 2 所示：

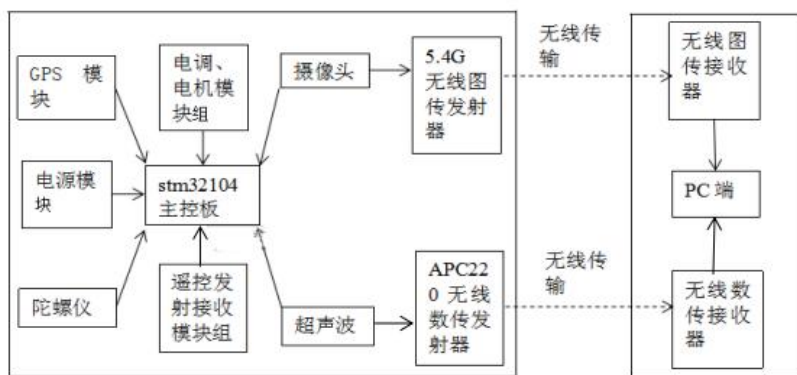


图 2 硬件系统框图

其硬件实物图如图 3 所示:

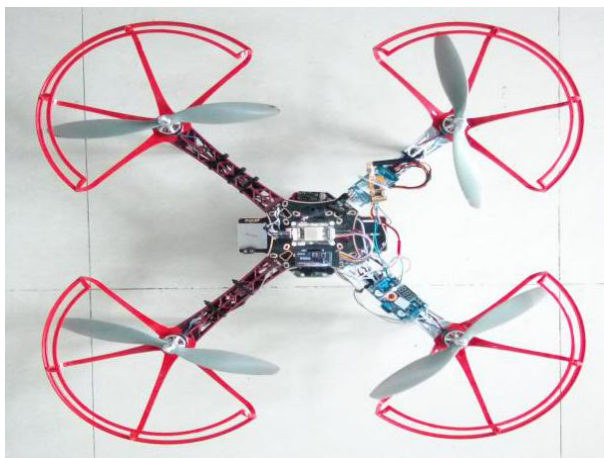
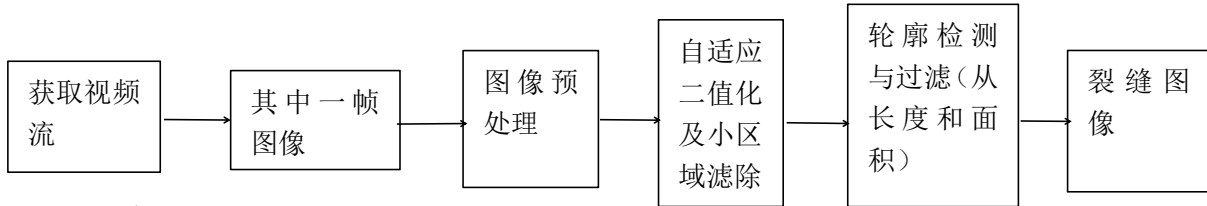


图 3 硬件实物图

软件部分分为环境搭建和功能实现两部分。首先在 PC 端搭建 VS2010+Opencv 图像处理开发环境，之后进行功能实现，功能实现主要包括裂缝检测、裂缝识别和裂缝最大宽度以及裂缝面积计算三个部分：

#### (1) 裂缝检测

首先四旋翼无人机摄像头上拍摄到的裂缝视频流以及超声波获取到无线图传摄像头距离裂缝的高度数据通过无线图传模块组和无线数传模块组传输回 PC 端，PC 端编写图像处理相关程序对裂缝进行检测。图像处理流程如下：



#### (2) 裂缝识别

本次作品中针对不同类型的裂缝设计了裂缝识别程序。裂缝主要可以分为横向裂缝、纵向裂缝、斜向裂缝、网状裂缝，本次作品根据四种裂缝在投影特征、裂缝区域面积、裂缝区域分布密度上呈现不同的数据规律，如表 1：

表 1 裂缝类型四个特征值对比表

特征值 裂缝类型	X_max	Y_max	Area	D
横向裂缝	相对较小	相对较大	相对较小	相对较小
纵向裂缝	相对较大	相对较小	相对较小	相对较小
斜向裂缝	中等大小	中等大小	相对较小	相对较小
网状裂缝	中等大小	中等大小	相对较大	相对较大

分别提取以上四个特征作为特征向量  $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (X\_max, Y\_max, Area, D)$ ，

$(d_1, d_2, d_3, d_4) = (0, 1, 2, 3)$  作为四种裂缝类别标记，进行 SVM 模型训练和测试，将训练好的 SVM 模型应用到实际测试中从而识别出检测到的裂缝的类型。

其中各特征值计算方法如下：

假设一幅图像可以表示为二维的向量组即  $f(i, j)$  则有，裂缝图像 X 轴和 Y 轴的积分投影如下式：

$$X(i) = \sum_{j=1}^N f(i, j) \quad (i = 1, 2, \dots, M)$$

$$Y(j) = \sum_{i=1}^M f(i, j) \quad (j = 1, 2, \dots, N)$$

根据投影特征，可以把最大差值  $X_{max}$  和  $Y_{max}$  作为裂缝类型识别的特征之一，即：

$$X_{max} = \max(X(i)) - \min(X(i)) (i = 1, 2, \dots, M)$$

$$Y_{max} = \max(Y(j)) - \min(Y(j)) (j = 1, 2, \dots, N)$$

裂缝区域的面积  $Area$ ：

$$Area = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j)$$

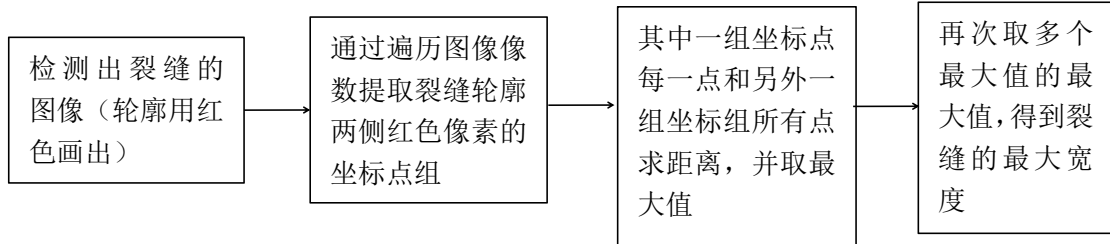
分布密度  $D$ ：

采用裂缝区域面积与其  $Area$  最小外接矩形面积  $S_c$  的比值来计算，则有：

$$D = \frac{Area}{S_c}$$

### (3) 裂缝最大宽度计算和裂缝面积计算

裂缝检测和识别完成之后，需要对裂缝进行描述和评估，对于网状裂缝可以通过裂缝面积评估，而对于线性裂缝我们可以最大宽度来评估。其中裂缝面积通过计算裂缝轮廓面积得到，裂缝最大宽度根据如下流程完成：



以上得到的是裂缝图片中裂缝的面积和最大宽度，可以根据无线数传传输回超声波的高度信息和成像比例法则计算出实际环境中裂缝的面积和宽度。基本原理如图 4：

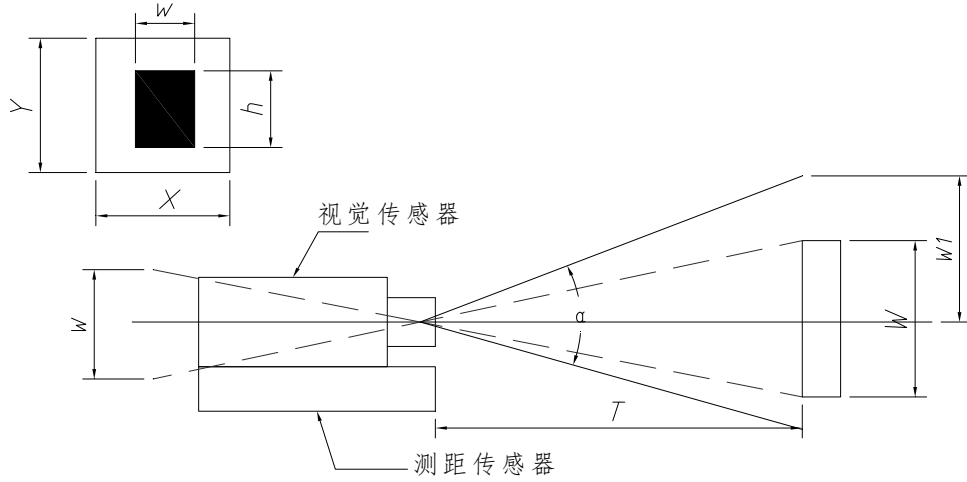


图 4 裂缝实际宽度和面积计算原理图

图中， $T$  为摄像头到裂缝的距离； $W$  为裂缝实际宽度， $w$  为裂缝在图像中的宽度； $H$  为裂缝实际长度， $h$  为裂缝在图像中的长度； $\alpha$  为视觉传感器的水平视场角，垂直视场角为  $\beta$ ； $X$  为所采集的图像的宽度， $Y$  为所采集的图像的长度。根据成像过程中三角形相似的原理，可得：

$$\frac{W}{w} = \frac{2W_1}{X}$$

其中

$$W_1 \approx T \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

由以上两式得

$$W = \frac{2T \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{X} w$$

同理

$$H = \frac{2T \tan\left(\frac{\beta}{2}\right)}{Y} h$$

最后整理得

$$W = K w$$

$$A = K a$$

$$K = \frac{2T \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{X}$$

其中  $W$  为裂缝的实际宽度， $w$  为裂缝在图片中的宽度； $A$  为裂缝的实际面积， $a$  为裂缝在图片中的面积； $K$  为相关系数，根据摄像头距离裂缝的高度和摄像头视场角计算得到。

### 3.2 实际性能测试

实际性能测试包括三部分。

(1) 第一部分为对实际裂缝图像进行裂缝检测性能测试，其检测过程和效果图如下：

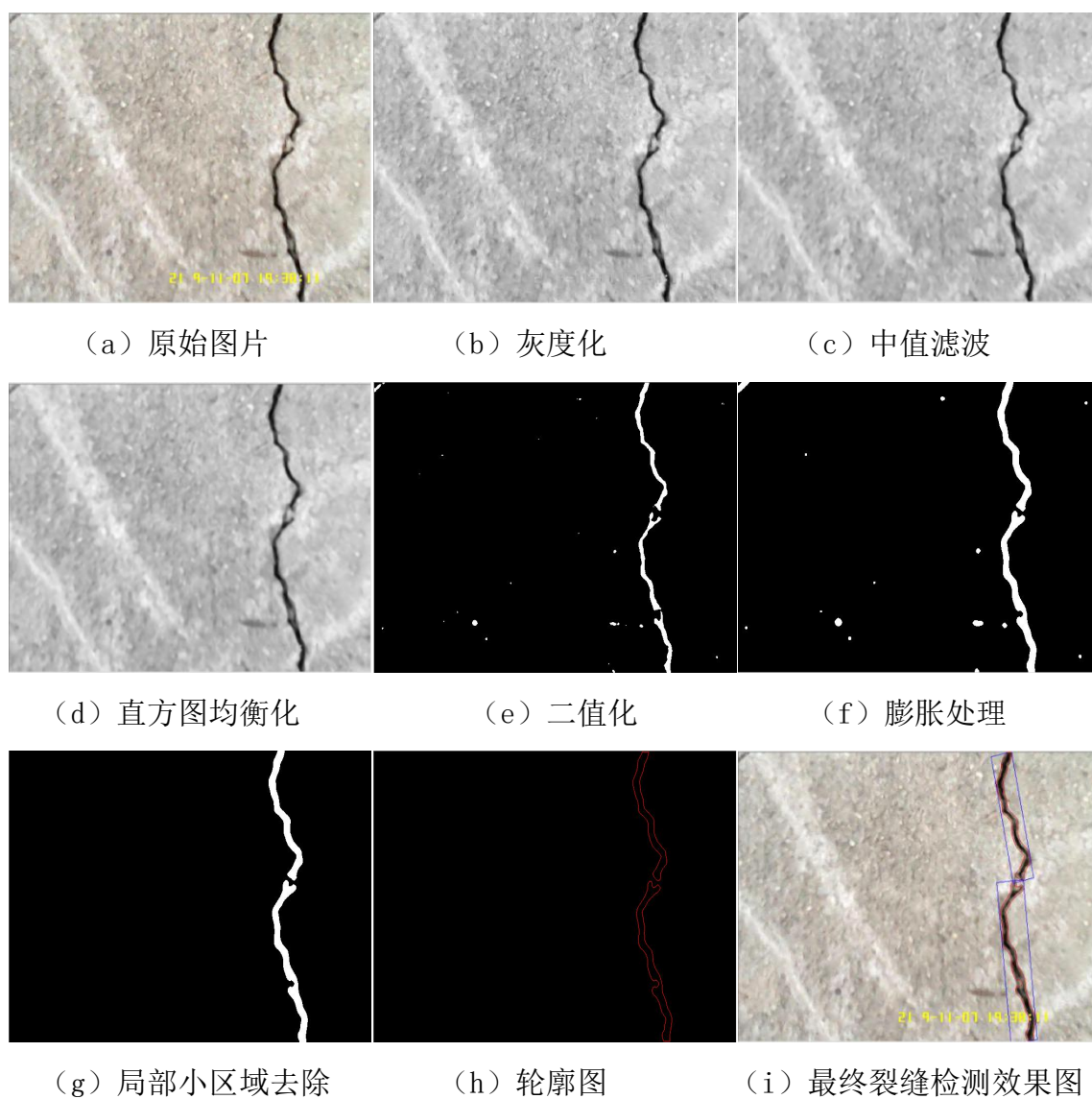


图 5 裂缝检测过程及效果图

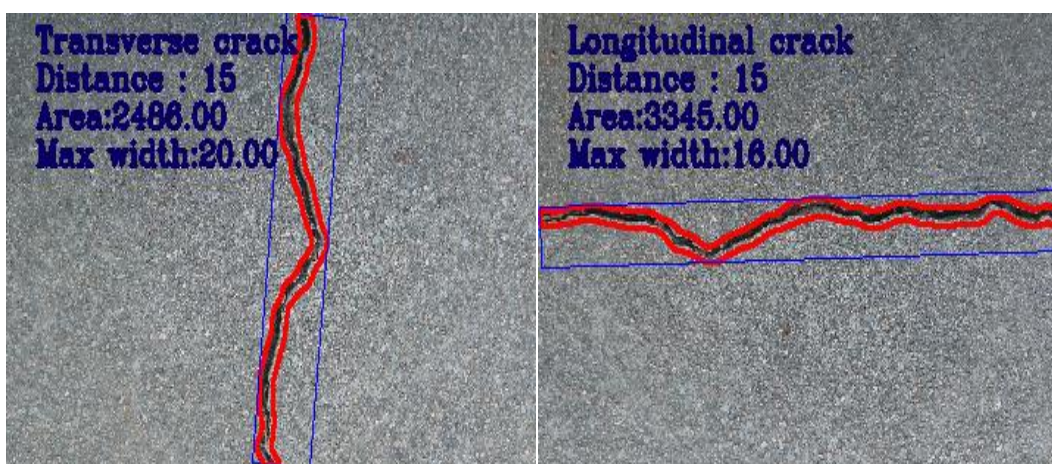


(2) 第二部分为提取裂缝特征训练SVM模型。本次作品共采用800幅裂缝图像，每种类型的裂缝图片数量为200张，其中各抽取150张作为训练样本，进行SVM模型的训练，剩余图片作为测试样本，其测试结果如下：

表 2 SVM 模型对裂缝图像分类结果

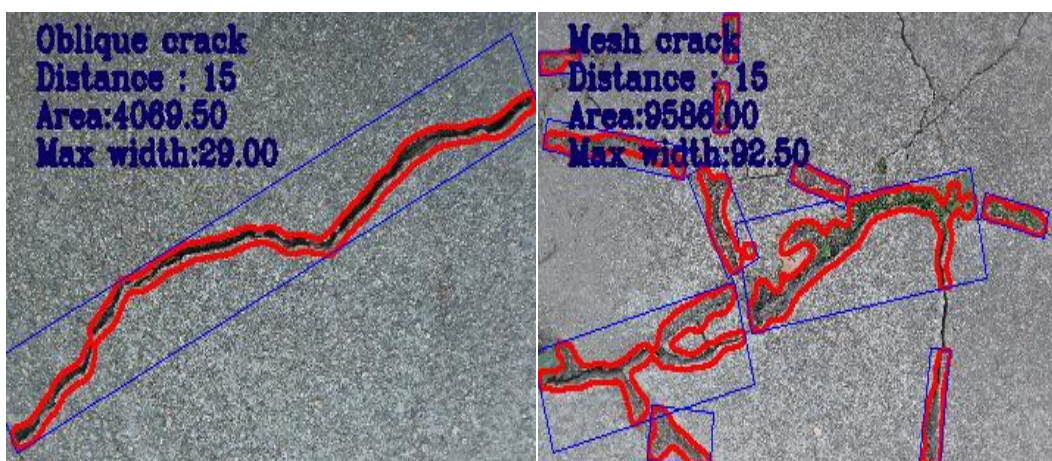
	横向裂缝	纵向裂缝	斜向裂缝	网状裂缝
测试样本数目	50	50	50	50
分类正确数目	45	43	45	49
准确率	90.00%	86.00%	90.00%	98.00%
总正确率	91%			

下图为对四种类型裂缝的检测识别结果：



(a) 横向裂缝

(b) 纵向裂缝



(c) 斜向裂缝

(d) 网状裂缝

图 6 裂缝识别效果图



图像左上角的标注依次为裂缝类型、裂缝距离摄像头的高度（cm）、裂缝面积（mm<sup>2</sup>）、裂缝最大宽度（mm）。

（3）第三部分为裂缝宽度误差的计算。裂缝宽度的计算原理已在第三章详细阐述。此处主要进行多组实验验证本算法的计算误差。采集不同高度距离的裂缝使用本文算法程序计算出裂缝最大宽度，同时人工测量出对应裂缝的最大宽度，两组数据求误差，实验结果如表 3：

表 3 裂缝宽度计算误差

距离（cm）	宽度（mm）	测量值	实际值	误差
10		3.11	2.80	0.11
20		4.28	3.92	0.09
30		8.70	7.94	0.09
40		6.95	7.32	0.05
50		12.7	13.6	0.06
60		2.975	2.26	0.31

由表可得大部分数据误差维持在 0.1 以下，所以裂缝宽度计算方法是可行的。

#### 4 不足及改进

本次作品对裂缝的检测首要的操作是转为灰度图，即在灰度图下对图片进行一系列的处理，导致容易将其他深色物体识别为裂缝。由此对其检测部分作出改进，使用 caffe 框架搭建深度学习全卷积神经网络 FCN 对裂缝进行语义分割训练，并使用训练好的模型应用于图片中裂缝的分割，将分割结果作为裂缝的检测结果。由于训练和测试中的样本都采用原始的裂缝彩色图，从而可以排除深色物体对裂缝检测的干扰。使用 FCN 对网状裂缝进行语义分割测试效果图如下：

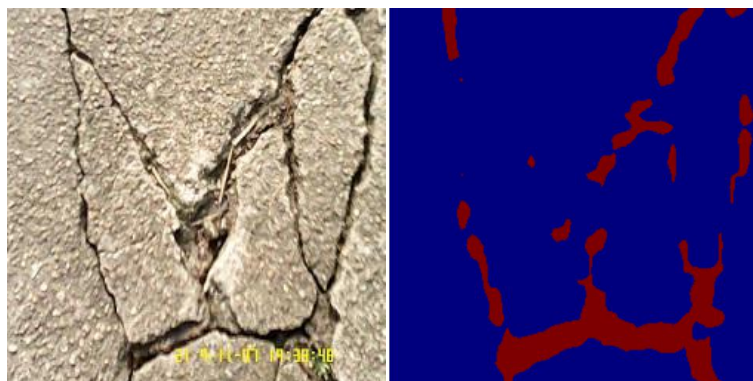


图 7 使用深度学习 FCN 对裂缝进行分割效果图

## 5 作品创新性

本次作品的创新性如下：

第一，通过提取裂缝多个特征使用机器学习算法 SVM 训练生成 SVM 模型，使得裂缝识别更加准确。

第二，设计了一种高效准确的裂缝最大宽度计算算法。首先通过遍历图像像素提取裂缝轮廓两侧坐标点组，然后其中一组坐标点每一点和另外一组坐标组所有点求距离并取最大值，最后对多个最大值取最大值，得到裂缝的最大宽度。

第三，针对用传统计算机视觉对裂缝进行检测过程中只能处理为灰度图再进行检测所导致深色物体对裂缝检测存在的干扰，提出使用深度学习全卷积神经网络 FCN 对裂缝进行语义分割作为裂缝的检测结果。