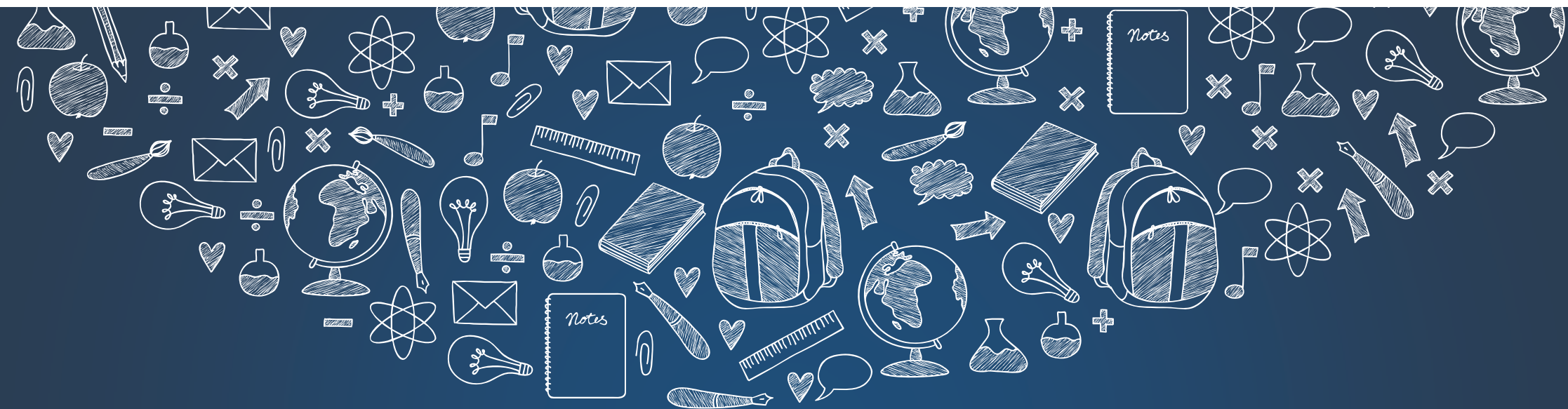




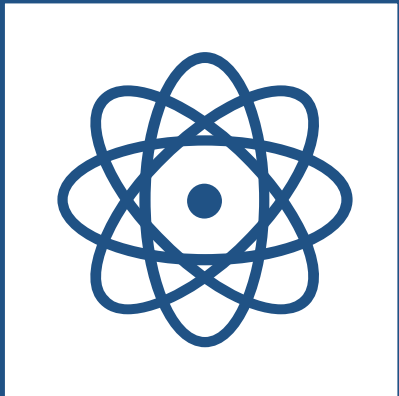
基于张量投票的桥梁裂缝检测 技术研究与实现

栗一鸣

目录

CONTENTS

- | | |
|----|--------------|
| 01 | 课题研究意义 |
| 02 | 张量投票进行桥梁裂缝检测 |
| 03 | 桥梁裂缝宽度测量方法 |
| 04 | 图像拼接技术的工程优化 |
| 05 | 演示软件的设计与实现 |
| 06 | 总结与展望 |





- 传统的桥梁裂缝检测方法：
桥梁裂缝检测车+人工标注裂缝位置+裂缝宽度检测设备
缺点：设备复杂，成本高，效率低且测试数据不易保存。
- 基于图像处理的桥梁裂缝检测方法：
照相机获取图像+图像处理获取裂缝信息
优点：设备简单，成本低，效率高且测试数据便于保存。



裂缝检测车

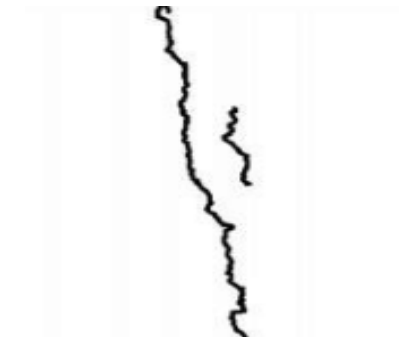
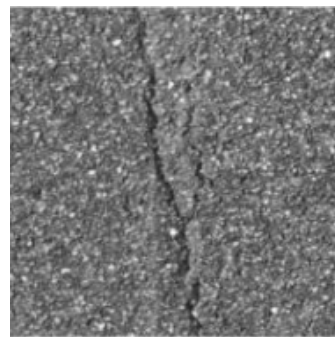
裂缝宽度
检测仪基于图像裂缝
检测

裂缝信息特征

- 桥梁裂缝信息特征
 1. 裂缝边缘一般呈不规则且呈锯齿状；
 - 2 裂缝内部一般比周围像素点处的灰度值低；
 3. 裂缝整体呈线性，且裂缝像素在图像中比例较少；
 4. 图片背景存在较大噪声。

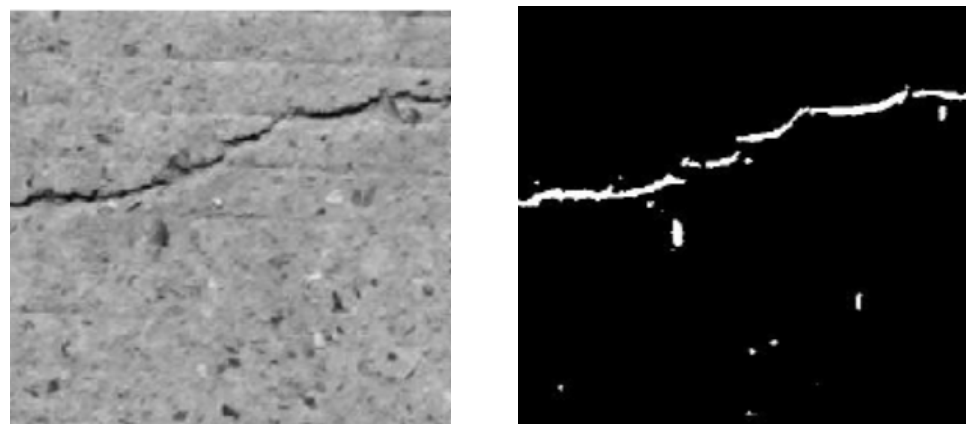
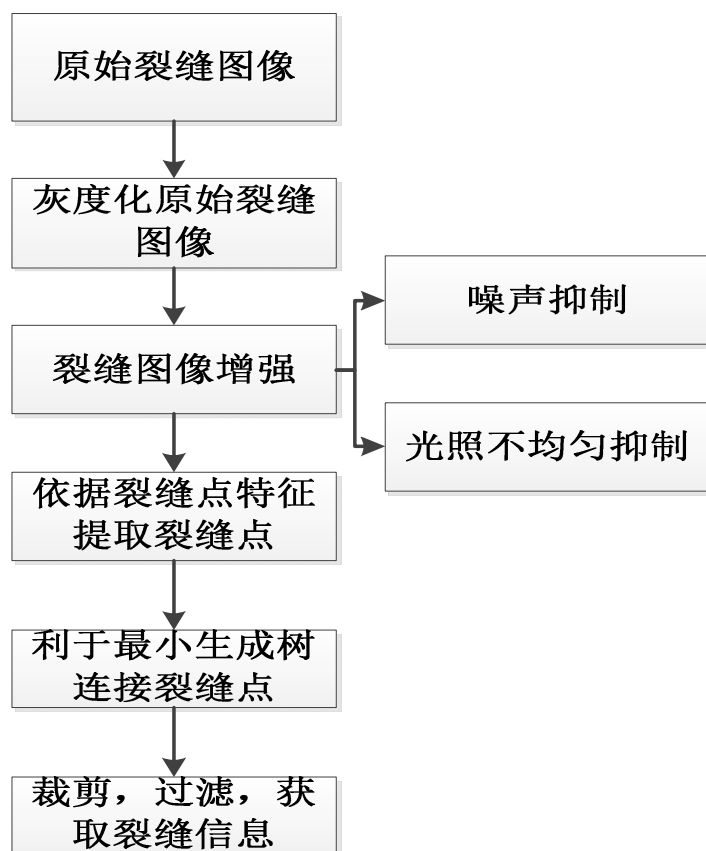


国内外研究现状 — 基于最小路径的裂缝识别算法



- 基于最小路径的裂缝识别算法：
裂缝点成像特征，裂缝线特征，最小生成树。
- 优点：
提取横，纵裂缝时：速率快，抗斑点干扰能力强
- 缺点：
受光照影响极大，提取网状复杂裂缝时准确性不高

国内外研究现状 — 基于裂缝特征提取裂缝算法



- **基于裂缝特征提取裂缝算法：**

中值滤波和小波阈值滤波，方向特征，局部灰度特征，最小生成树。

- **优点：**

抗干扰能力强，效率高

- **缺点：**

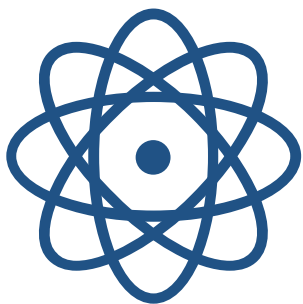
适应性较差，裂缝出现断裂

国内外研究现状—小结

因桥梁裂缝图像中存在较大的背景噪声，故目前单纯依赖裂缝某一特征进行裂缝检测的方法是无法获取准确的桥梁裂缝信息。为提升裂缝检测结果的准确性，应当充分利用裂缝所具备的多种特征如：裂缝边缘对称性，裂缝边缘对比度高和裂缝呈现线性几何特征来对桥梁裂缝进行检测。

而以上特征中最能体现裂缝的是线性特征，而张投票算法因在计算图像几何特征方面有良好的表现，故引入张量投票算法来进行桥梁裂缝检测，以提升检测结果准确性。





张量投票方法进行裂缝检测

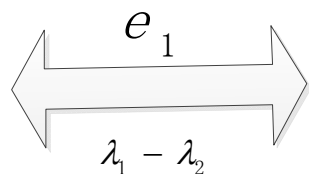


1. 张量表示

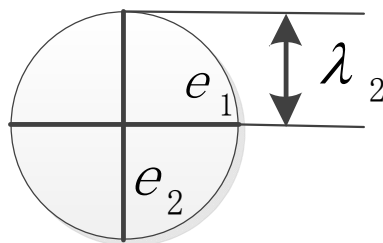
张量表示部分主要是将图像中待检测的部分使用张量来进行表示，因为图像在空间中呈现为二维结构，故采用二维矩阵来对图像中任意位置处像素点的几何特征进行表示。而任意一个二维矩阵均可进行特征分解：

$$T = \lambda_1 e_1 e_1^T + \lambda_2 e_2 e_2^T = (\lambda_1 - \lambda_2) e_1 e_1^T + \lambda_2 (e_1 e_1^T + e_2 e_2^T)$$

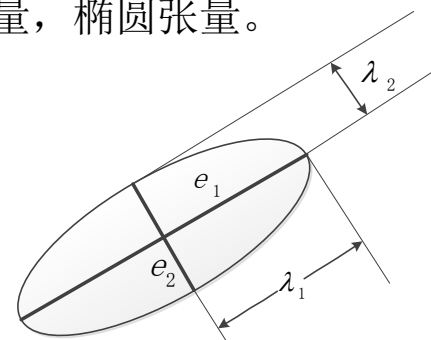
根据特征值 λ_1 和 λ_2 的大小关系，可以将张量分为三类：棒张量，球张量，椭圆张量。



棒张量
 $\lambda_2 = 0$



球张量
 $\lambda_1 = \lambda_2$



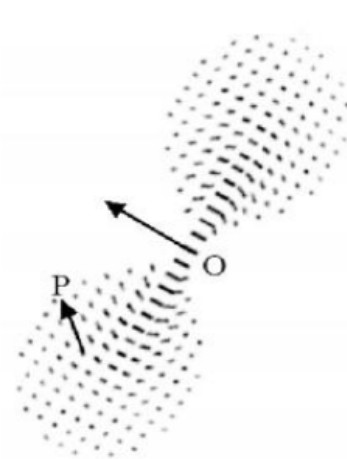
椭圆张量
 $\lambda_1 \neq \lambda_2$

2. 张量计算

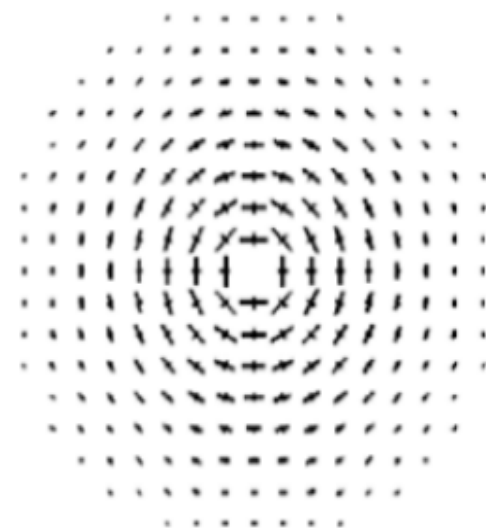
张量计算指的是利用投票的方法将投票点处的张量信息传递给邻域范围内的其他像素点处，并通过场强信息的叠加，进而分析出该像素点与周围像素点之间的关系，从而获取到该像素点所具备的几何特征。并根据投票点处的方向分为两种张量场：棒张量场，球张量场。



法向方向为y轴的棒张量场



法向方向为45的棒张量场



球张量场

3. 构建张量表

因为图像中的任意一个像素点的棒张量计算结果均可以通过此邻域中的棒张量来表示。因此本章把在此投票范围中的不同角度所对应的棒张量构建成张量表，并且在以后的投票过程中只需通过张量表查询便可以获得所有像素点处的棒张量，从而降低算法复杂度。

设图像分辨率 5760×3840 ，投票范围为 60×60 。未构建张量表时，需要进行 $5760 \times 3840 \times 60 \times 60$ 次投票运算，而若使用张量表，则只需要进行 $180 \times 60 \times 60$ 次运算。其中180代表以2度为步长，将以y轴为法向方向的棒张量场旋转一周所需的次数。

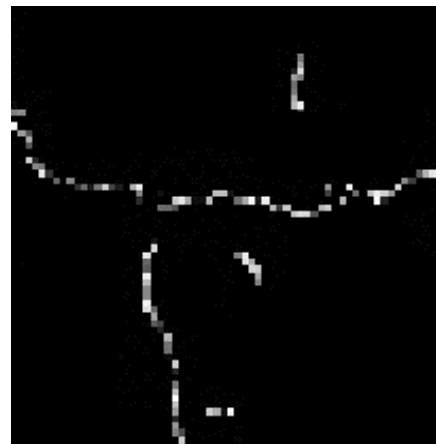
而且球张量场本是基于球张量场进行旋转叠加获取的，所以球张量场也可以通过张量表来获取。同时该张量表也适用于投票范围相同的图像。

4. 分析张量信息

通过对投票后的张量进行分解，能够获取当前像素点棒显著性为 $(\lambda_1 - \lambda_2)$ ，球显著性为 λ_2 。若 $(\lambda_1 - \lambda_2) > \lambda_2$ 则表示此时像素点具备的是线性特性；若 $(\lambda_1 - \lambda_2) < \lambda_2$ ，则表示此时像素点具备的是散点特性。



利用裂缝特征提取
裂缝种子点

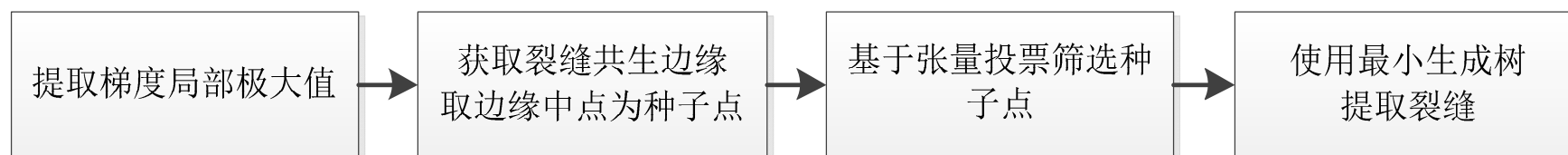


利用张量投票增强
裂缝种子点

基于张量投票方法进行裂缝检测

如右图所示，可知裂缝在图像中主要有以下特征：

1. 裂缝边缘处对比度比较明显；2. 裂缝边缘一般呈现不规则锯齿状，且边缘对称；3. 裂缝一般呈线性。

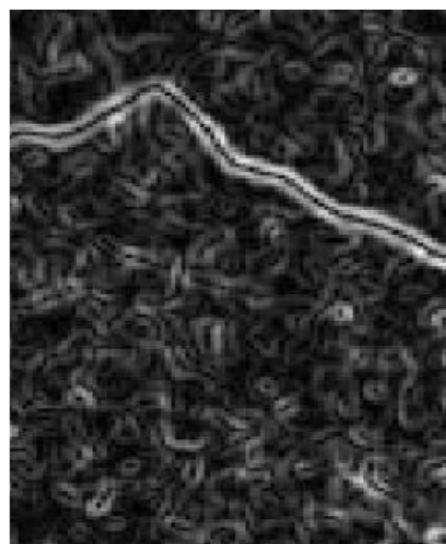


1. 提取局部梯度极大值

裂缝在图像中呈现的最重要的特征值其具有明显的线性边缘，且裂缝内的像素点与裂缝边界处的像素点的灰度值相差较大。

因此先通过计算图像梯度,之后在3x3领域范围内并提取图像中的局部极大值来获取裂缝边缘信息。

从局部极大值二值图能够较为明显的观察到裂缝边缘，但是仍然存在一些噪声信息。



裂缝梯度图



局部梯度极大值
二值图

2. 提取裂缝种子点

之后利用裂缝处的亮度变化规律“亮-暗-亮”和裂缝边缘对称的特征。可知裂缝边缘处像素点具有梯度值大小相近、方向相反的特征。

基于上述特征，遍历局部极大值后的裂缝图，并沿着像素点处的梯度方向或者反方向在一定范围内搜索梯度值相近的点。并将这一对点做为裂缝的共生边缘点，将这一对点的中点称为种子点。



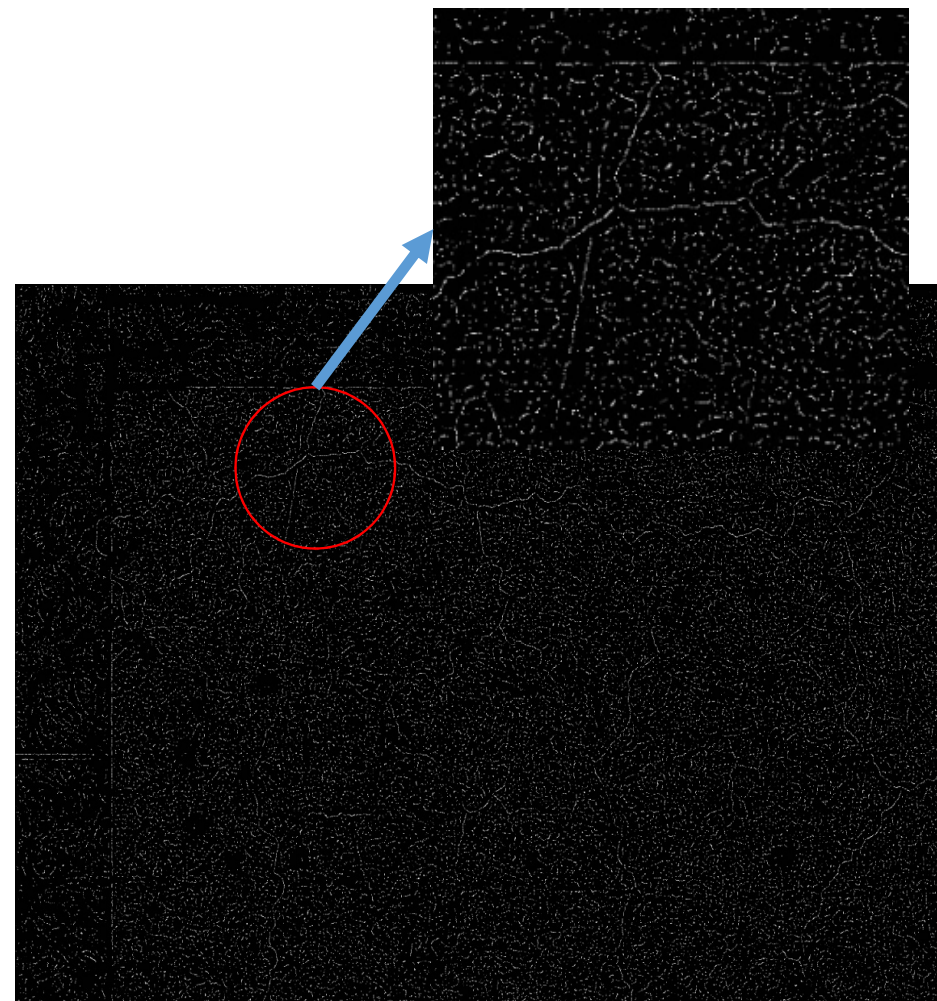
局部梯度极大值
二值图

2. 种子点提取

实验结果：



原始裂缝图



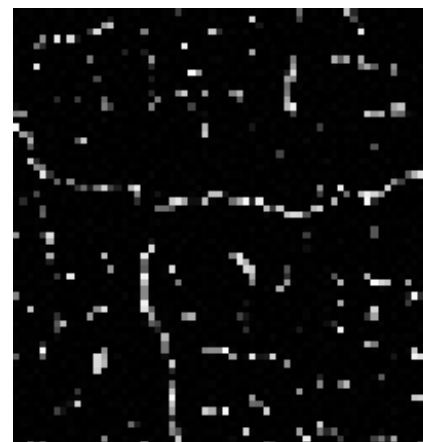
种子点提取结果图

3. 张量投票筛选种子点

如右图所示裂缝处像素点具备线性，连续特征，而裂缝点具备独立，离散特征。

而张量投票方法能够通过像素点与周围像素点之间的相对位置关系获取当前像素点处所具备的特征值。

通过统计种子点图中的像素点的特征值，能够发现可以用特征值很好的区分出裂缝点和噪声点，并通过设置阈值来滤除图像中的噪声点。



种子点图

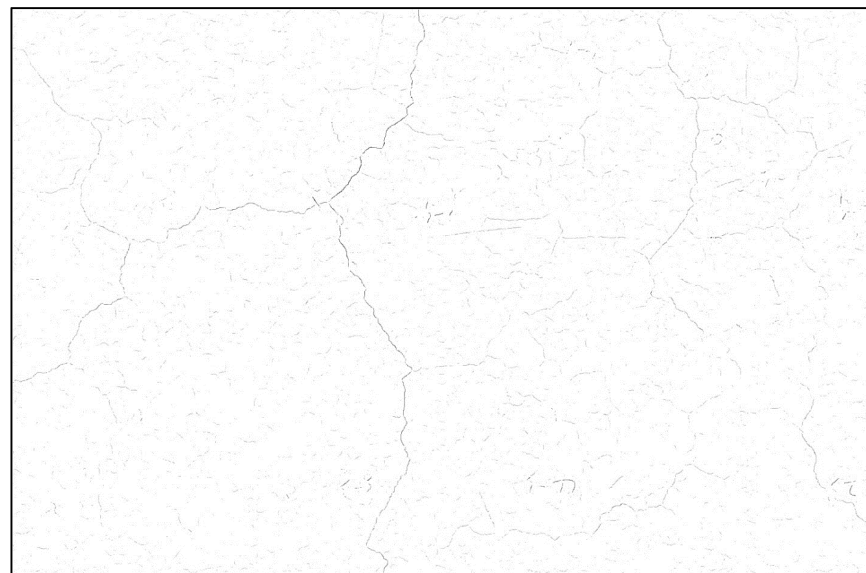
	裂缝点	噪声点
线性特征值	0.7	0.15
散点特征值	0.06	0.8

3. 张量投票筛选种子点

因为初始赋予像素点的张量为球张量，故像素点没有明确的方向，所以先对种子点进行稀疏球张量投票，即对球张量场中非0张量的像素点进行投票。



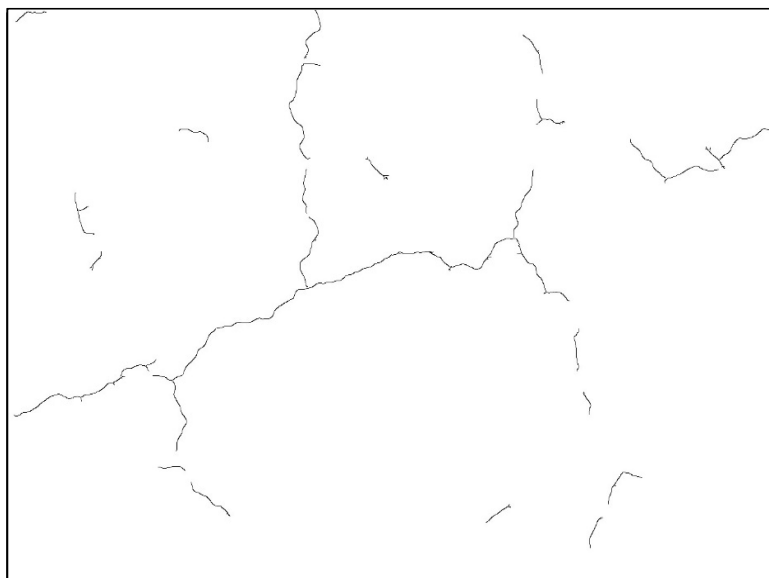
稀疏球张量投票结果



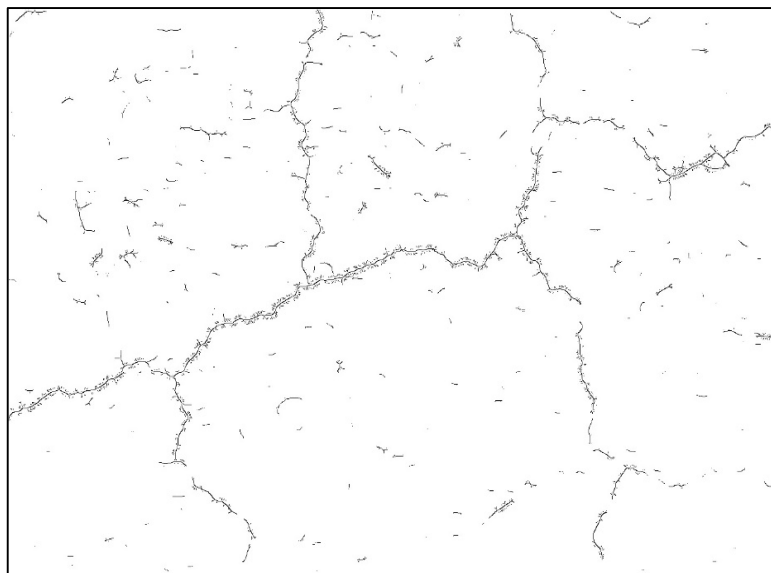
滤除棒显著性低的像素点

3. 张量投票筛选种子点

在第一次的投票过程中，由于种子点图像中的像素没有方向和显著性，所以第一次投票是基于球张量场投票。但是因为球张量场是没有明确的方向，因此提取到的种子点结果并不理想。所以为进一步提升算法检测准确性，需要对滤除后的种子点图再进行一次密集棒张量投票。



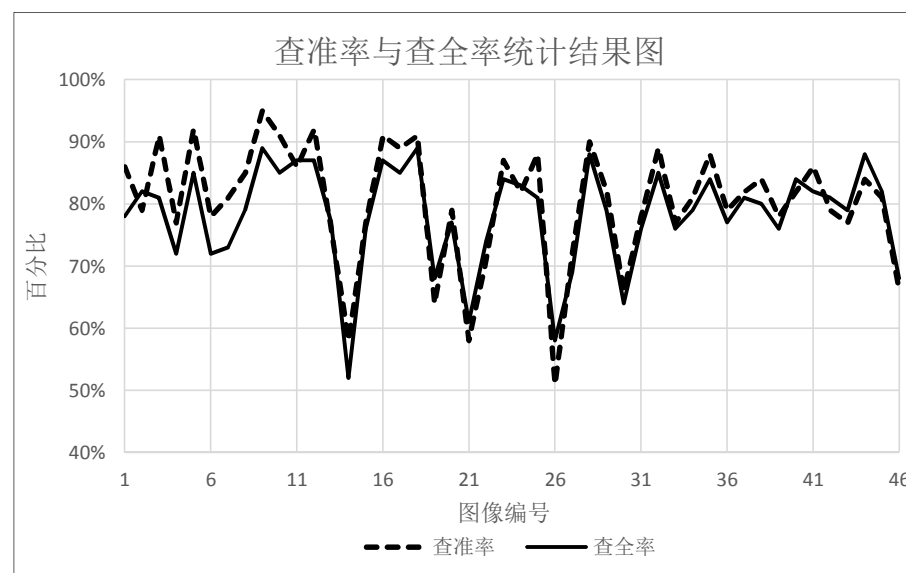
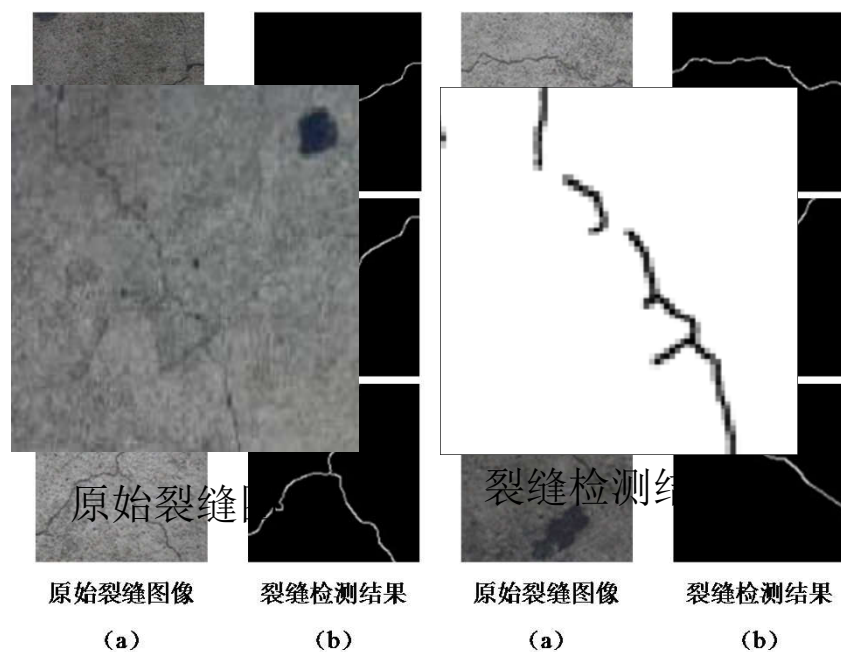
密集棒张量投票结果



非极大值抑制结果

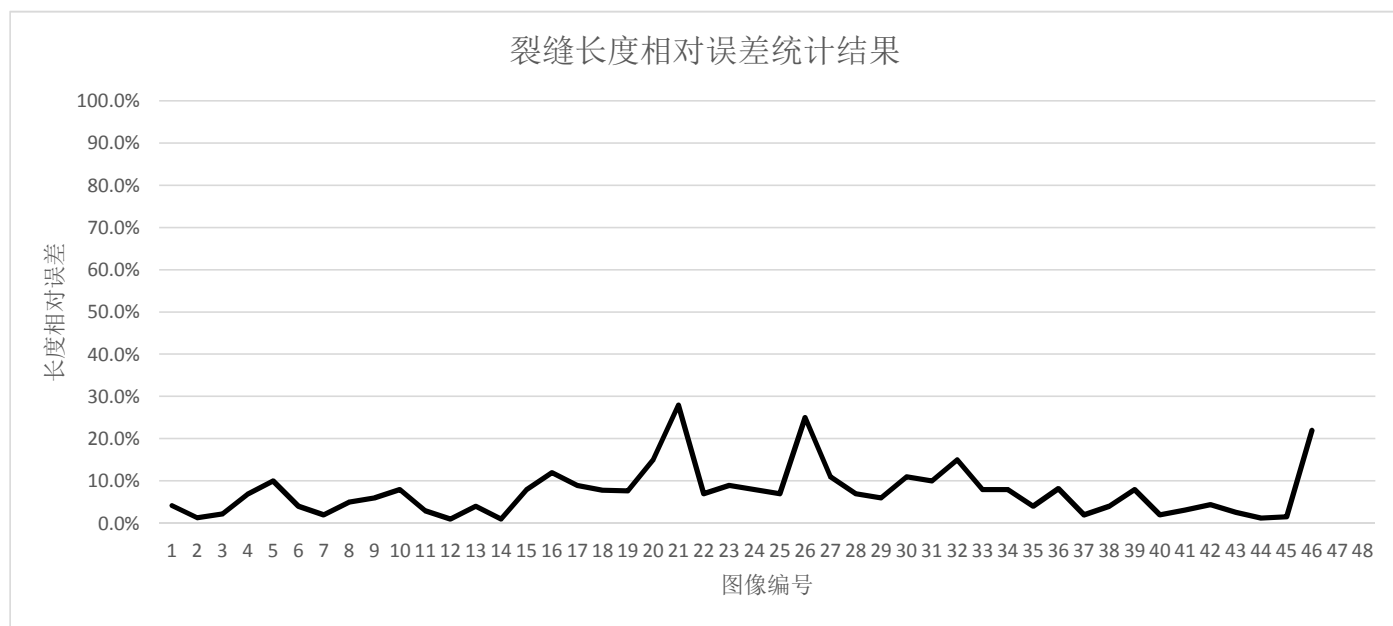
4. 实验分析

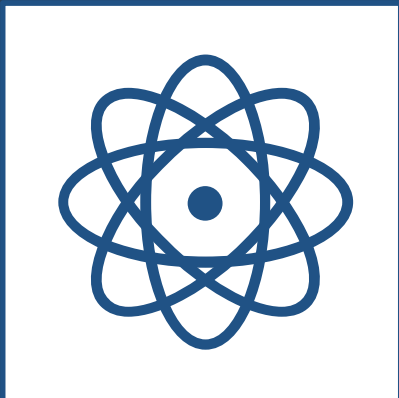
其中在图像检测领域中，图像检测的准确与否常用查准率和查全率来作为衡量指标。其中查准率指的是检测正确的裂缝点所占最终检测到的所有裂缝点的比率；查全率指的是所有人工标注出来的裂缝点像素中，检测准确的像素点所占的比例。



5. 获取裂缝数目与裂缝长度

基于裂缝位置信息，通过遍历裂缝点找到每条裂缝的起始点。之后从起始点出发，通过判断其8邻域范围内是否存在除自身之外其他的裂缝点，若有先计算相邻像素点的欧式距离并叠加同时继续遍历；若没有终止遍历，同时裂缝数目加一。





桥梁裂缝宽度测量方法

1.灰度直方图均衡化

在对桥梁图像进行采集的过程中，由于受到光照和相机的影响使得采集到的桥梁图像边缘呈现虚化现象。

为消除边缘虚化现象，将原始桥梁图像进行灰度直方图均衡化。



原始裂缝图



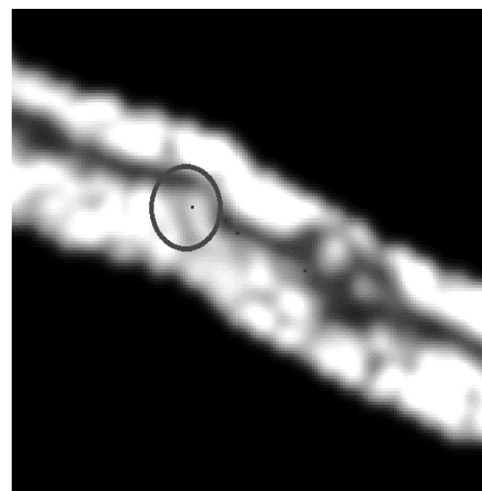
均衡化后裂缝图

2. 滤除裂缝外部的像素点

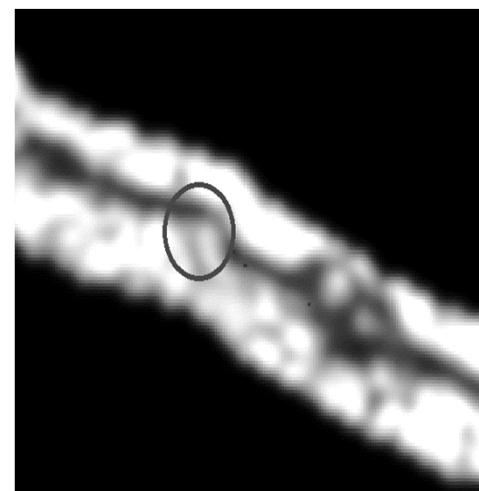
因为本方法将经过灰度直方图增强后的图像中梯度值最大处作为裂缝边缘位置，而提取的裂缝区域边缘处梯度值也比较大，故会对裂缝边界搜索造成干扰。

故需在进行裂缝检测时滤除位于裂缝外部的点，本方法设置一个自适应阈值实现裂缝点滤除。

$$15\% \times \sum_{n=1}^{255} sum_n = \sum_{n=1}^f sum_n$$



滤除前裂缝点

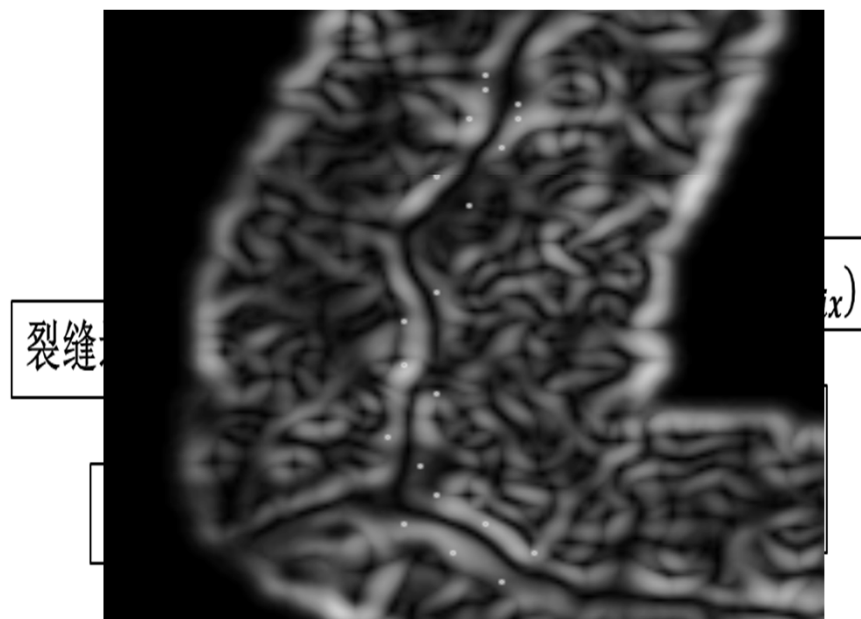


滤除后裂缝点

3.搜索裂缝边界

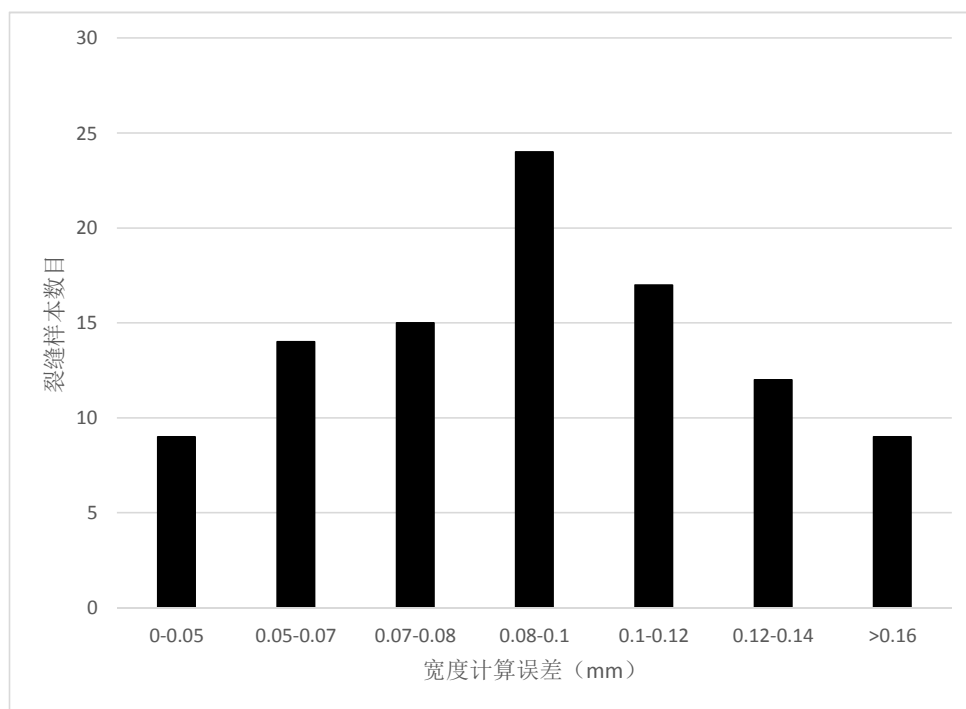
基于之前所获取到的位于裂缝内部的像素点和裂缝共生边缘点，便可以进行裂缝边界搜索。

同时观察裂缝的共生边缘点图，发现共生边缘点一般位于裂缝的外部，故将共生边缘点之间的连线为裂缝边缘的搜索范围，具体搜索过程如图所示。



共生边缘点图

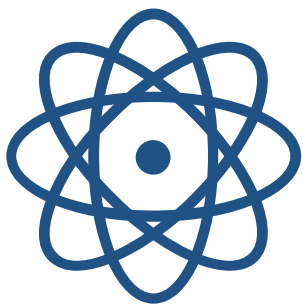
4.实验结果



裂缝宽度测量误差统计结果 (100组样本)
裂缝边缘检测结果

数据	比例尺 (mm/像素)	实际测量宽度 (mm)	平均像素距离 (像素)	检测裂缝宽度 (mm)	误差 (mm)
1	0.88	5.65	6.54	5.76	+0.11
2	0.81	6.44	7.99	6.47	+0.03
3	0.82	4.42	5.34	4.38	-0.04
4	0.80	3.51	4.24	3.39	-0.12
5	0.86	5.06	6.41	5.51	+0.05

5组裂缝宽度测量结果统计表



图像拼接技术的工程优化



1. 基于金字塔融合的图像拼接技术

基于金字塔图像融合技术的图像拼接方法用处较为广泛，且该方法在图像融合时能够更好保留图像的细节信息，故使用该方法实现图像拼接。该方法主要包含以下几个步骤：图像配准与图像融合。其中图像配准主要包括特征点提取、匹配、提纯、预估相机参数、细化相机参数、波形矫正；图像融合主要包括曝光补偿、寻找最佳缝合线以及图像融合。



原始小图a



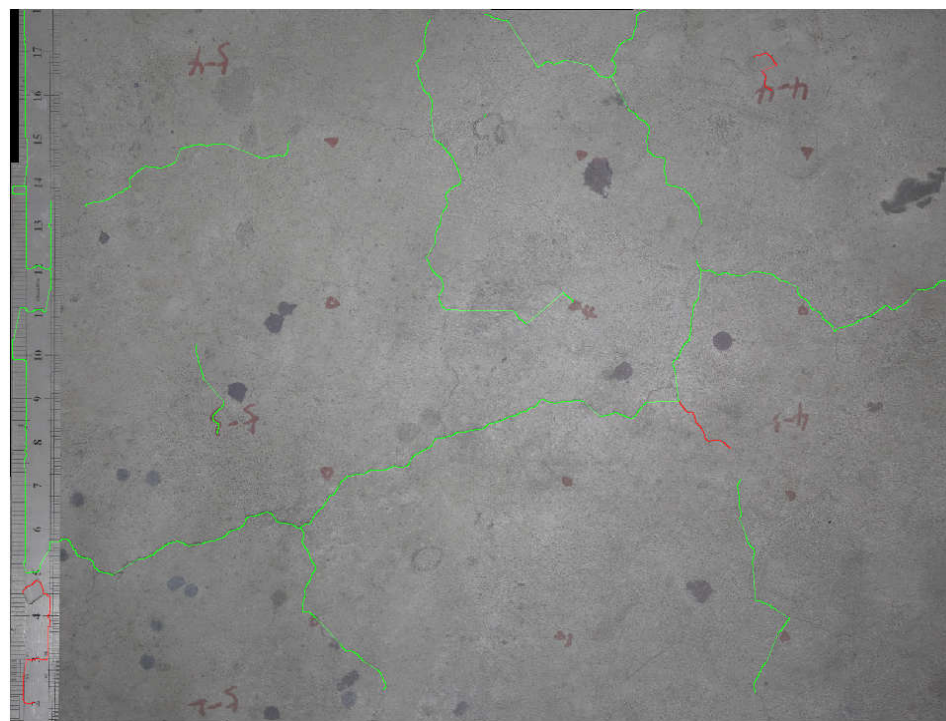
原始小图b



拼接结果

2. 裂缝信息融合技术

1. 用绿色标注裂缝及附近位置和用红点标注图像中点；
2. 对标注后的图像进行拼接，并提取拼接后的裂缝位置区域；
3. 对裂缝位置区域进行细化，将原始图像进行下采样，按照标注点进行叠加；
4. 同时将原始图中的裂缝信息标注至拼接图像中与其最近的裂缝点上。



裂缝信息融合结果

2.实验结果



图像融合结果

report.xls [兼容模式] - Excel

文件 开始 插入 页面布局 公式 数据 审阅 视图 加载测试 福昕PDF

粘贴 剪贴板 字体 对齐方式 数字 条件格式 套用表格格式 单元格样式 单元格 编辑

A1 <后溪桥>裂缝检测结果

	A	B	C	D	E	F	G
1	<后溪桥>裂缝检测结果						
2	梁板编号	裂缝序号	长度	平均宽度	最小宽度	最大宽度	
3		1	280.14	0.50	0.21	0.85	
4		2	75.04	0.51	0.23	0.84	
5		3	35.13	0.47	0.22	0.83	
6	小图)梁板[	4	13.05	0.51	0.28	0.63	
7		5	10.77	0.54	0.22	0.85	
8		6	28.60	0.51	0.21	0.82	
9		7	51.44	0.51	0.22	0.83	
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							

后溪桥 就绪 100%

融合后的裂缝信息统计结果

3. 桥梁裂缝检测算法的工程优化

优化方向：

1. 在基于张量投票获取裂缝信息处需要进行大量的梯度和张量值计算，使得裂缝检测耗时较长。
2. 在图像拼接和信息融合部分，由于需要对大量的像素点进行匹配，使得拼接部分所耗费时间较大，而且随着拼接数目的增加，算法耗费时间和内存也在增加。

拼接图像大小 (5760*3840)	耗时
2*2	8s
3*3	14s
4*4	20s
6*6	内存不足

基于金字塔融合技术算法耗时

桥梁构件大小 (m^2)	采集图像数目
1	3*2
2.5	4*4
20	12*10

桥梁构件大小与图像采集数目

3.桥梁裂缝检测算法的工程优化

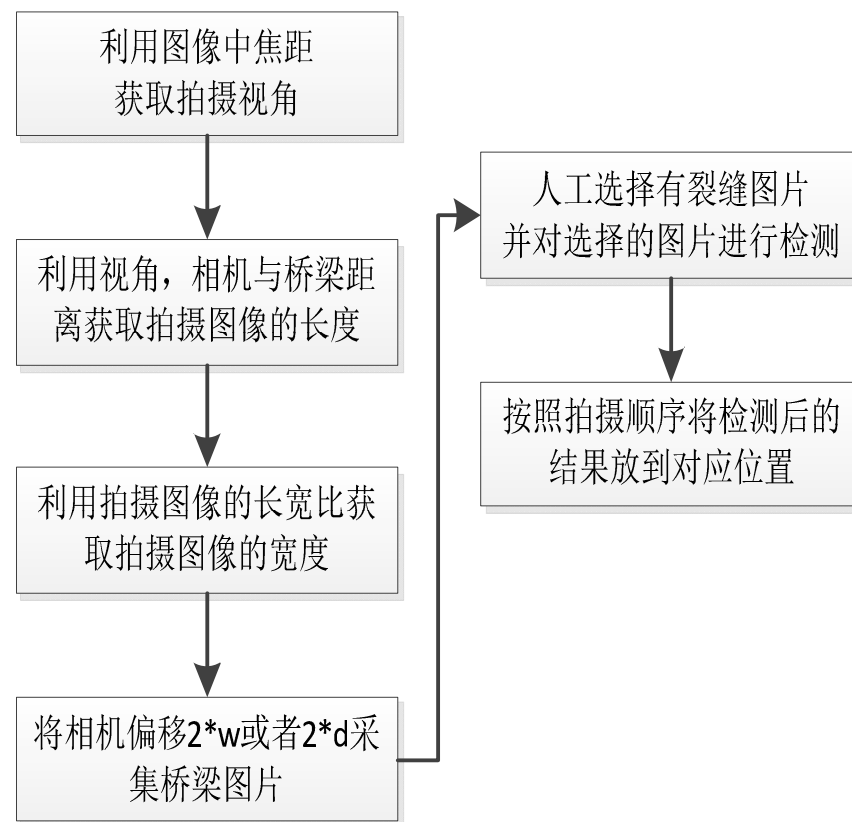
方法原理：

在实际工程应用中，裂缝只是占桥梁的一小部分，所以本方法先人工选择有裂缝的图像进行检测，以提升检测效率。

按照拍摄范围移动相机采集图像，使图像保持尽可能少的重叠，之后按顺序叠加图片，获取完整信息。

优点：1. 加入人工选择提升检测效率。

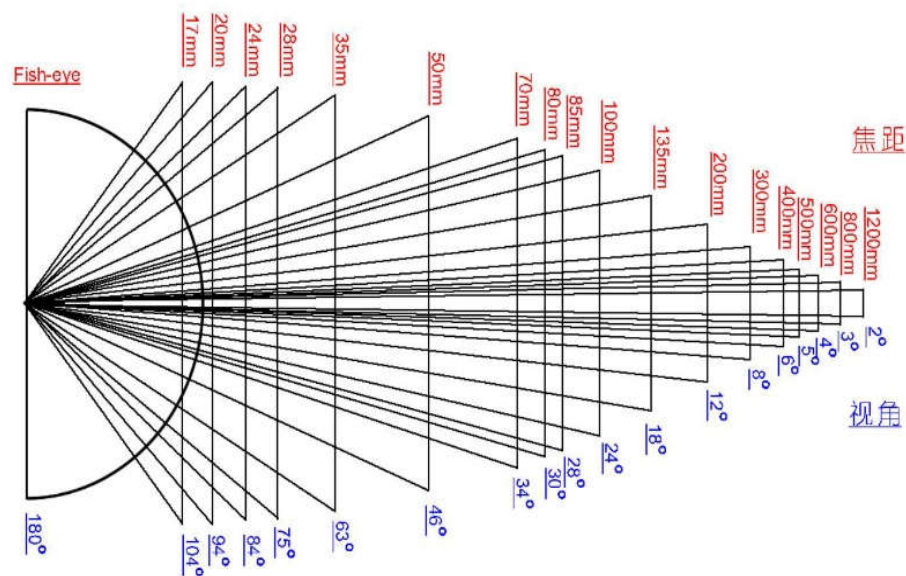
2. 使用按顺序叠加，克服了图像拼接造成的内存空间不足和耗时长缺点。



算法流程示意图

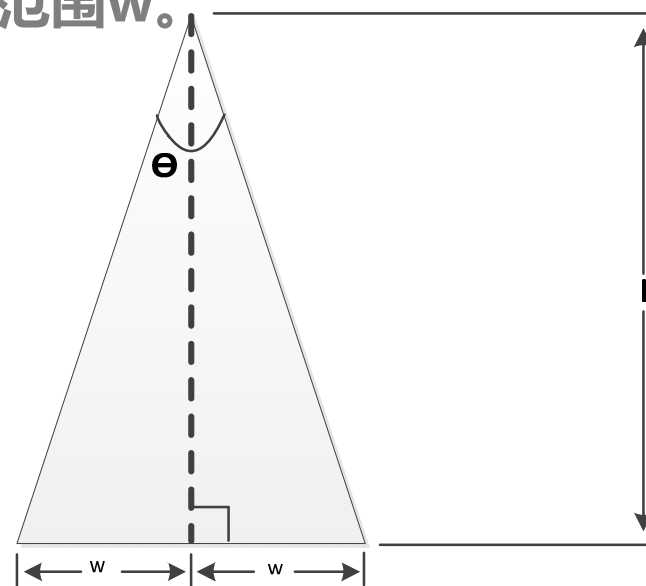
3. 图像拼接算法的工程优化

1. 利用图像焦距获取相机视角 θ 。



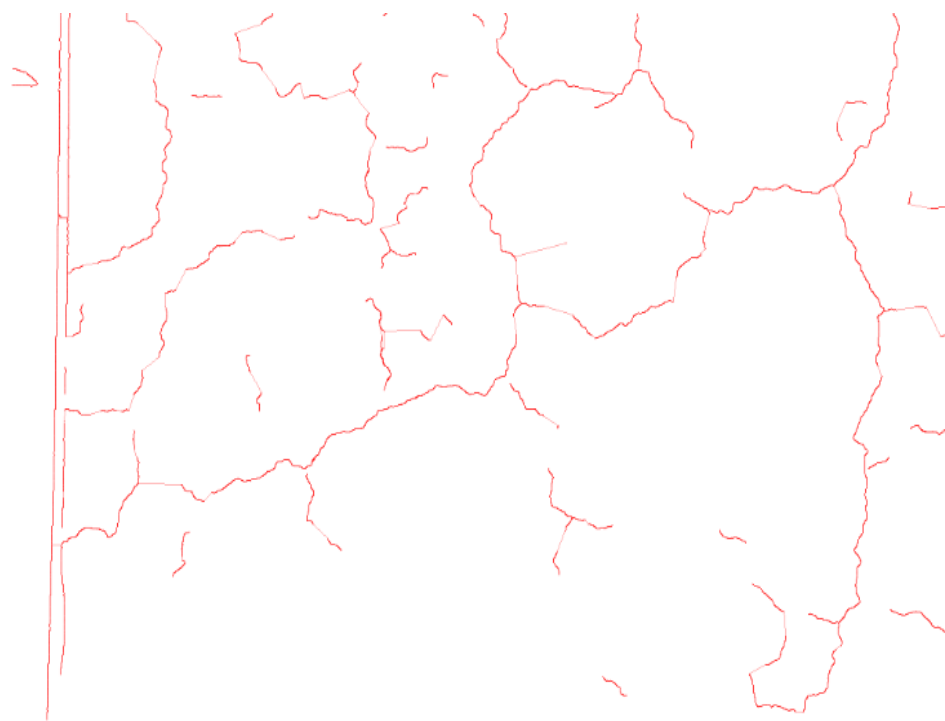
焦距与视角关系图

2. 利用视角 θ 和相机与桥梁距离 h ，计算拍摄范围 w 。

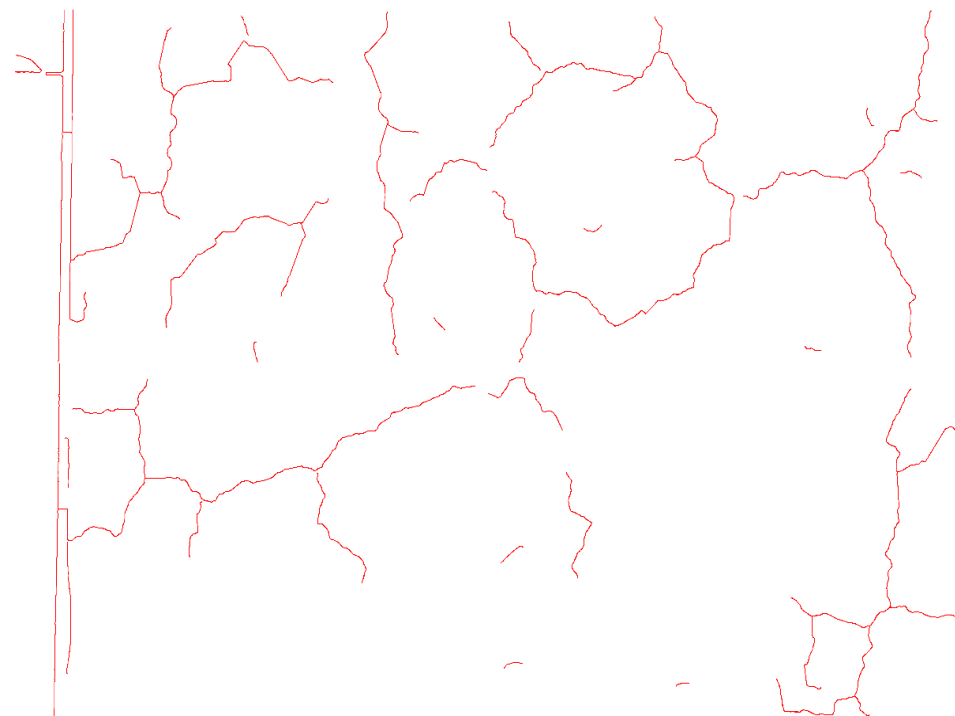


计算实际拍摄长度示意图

3.优化结果



图像采集结果
原始图像拼接结果



工程优化结果

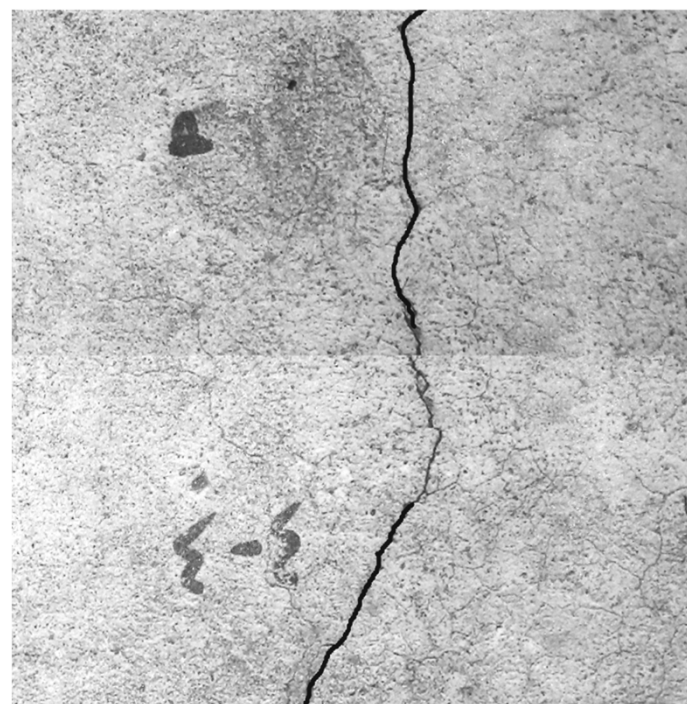
4.图像拼接处断裂裂缝的连接

目标：

解决图像拼接边界处的裂缝断裂情况，
获取完整桥梁构件上的裂缝信息。

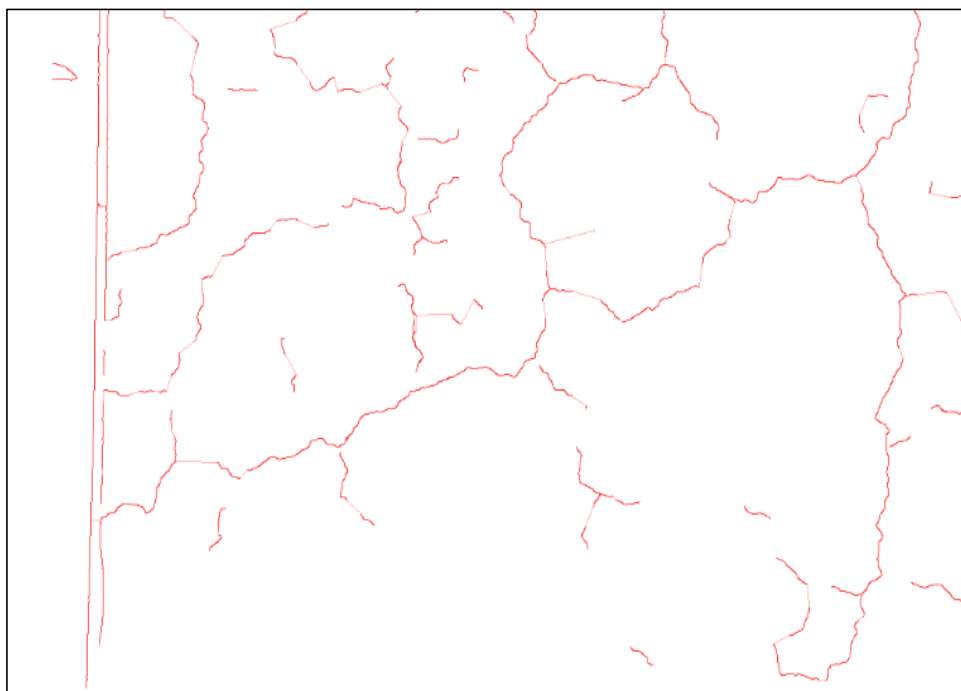
方案：

获取图像接缝线处周围的像素点，并
连接接缝线两边欧式距离最小的裂缝点，
之后删除长度大于阈值的连线。

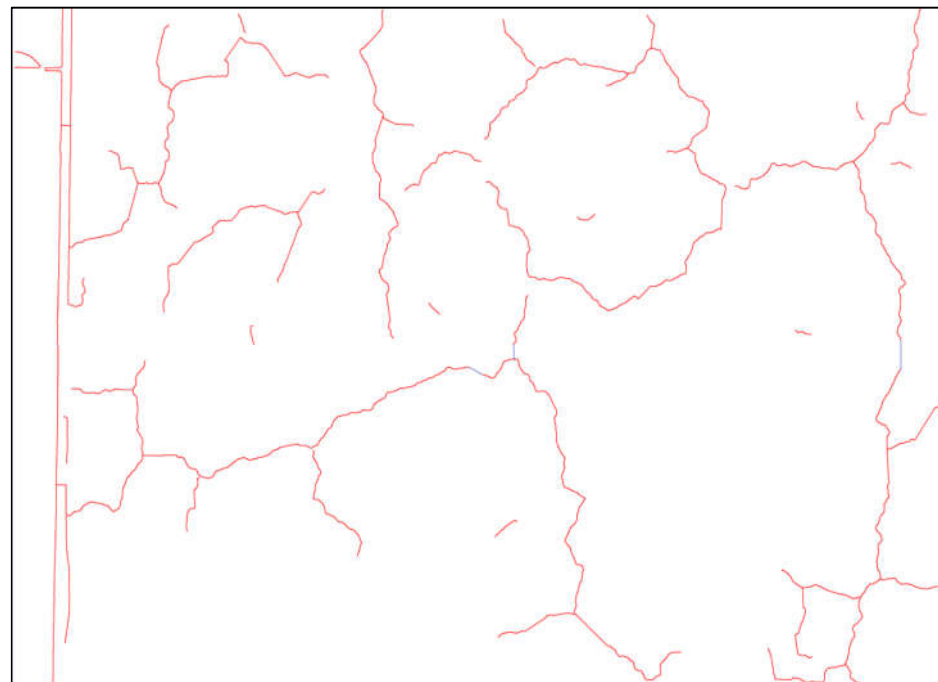


裂缝断裂处

5.实验结果



基于金字塔融合阈值法的裂缝结果

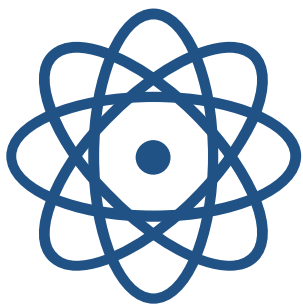


裂缝边缘检测裂缝结果

5.实验结果

优化前后拼接方法的耗时统计表

拼接方法 耗时 拼接图像数目	基于金字塔融合图 像拼接	改进 KAZE 无人机 航拍图像拼接算法	工程优化后方法
2×2	8s	4s	0.8s
3×3	14s	11s	1s
4×4	20s	27s	1.2s
5×5	中断（内存不足）	40s	1.4s



演示软件的设计与实现



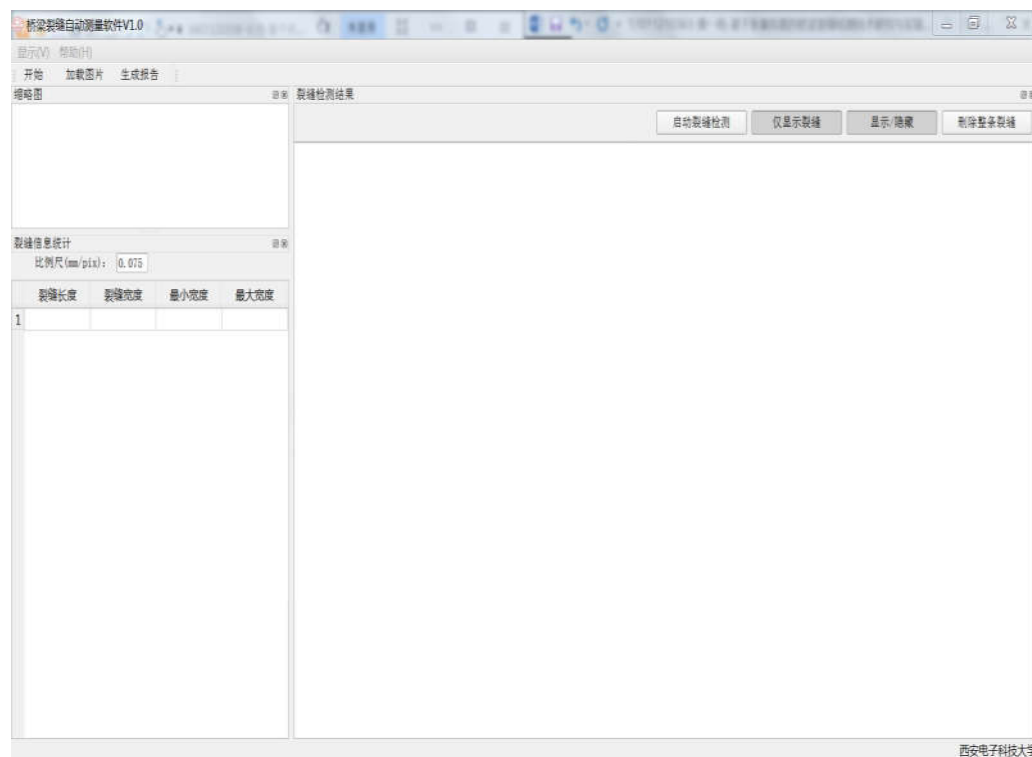
1. 软件设计

本软件设计总体围绕图像信息采集，裂缝检测，裂缝图显示，裂缝数据显示统计和人工修订裂缝信息等模块进行开发。

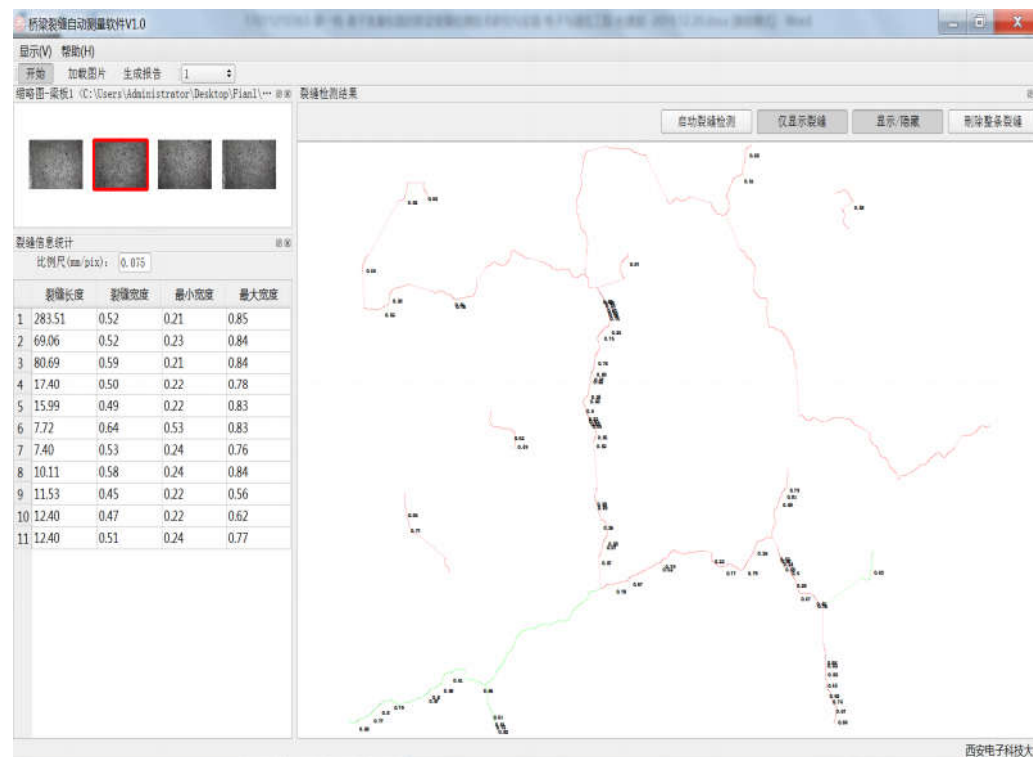
在上述模块中，将需要采用图像处理算法的模块（裂缝检测模块，图像拼接模块等）采用C++和Opencv实现，基于Windows界面部分采用Python和Qt实现。

5. 软件设计

软件界面示意图：

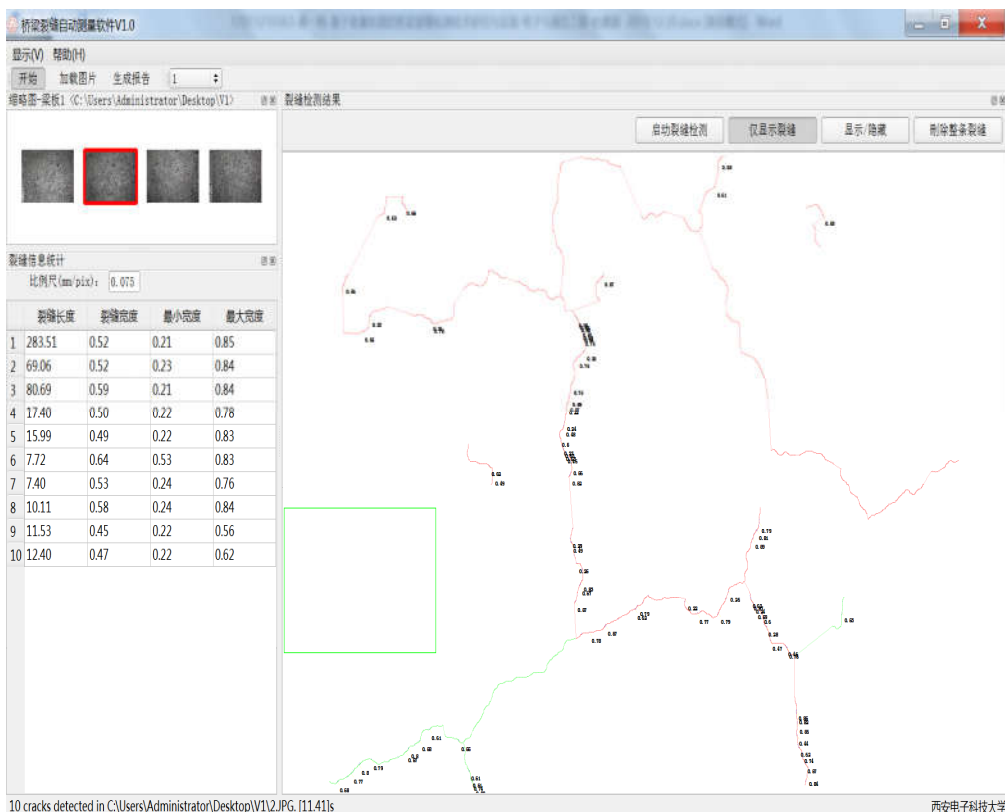


裂缝检测结果示意图：



5. 软件设计

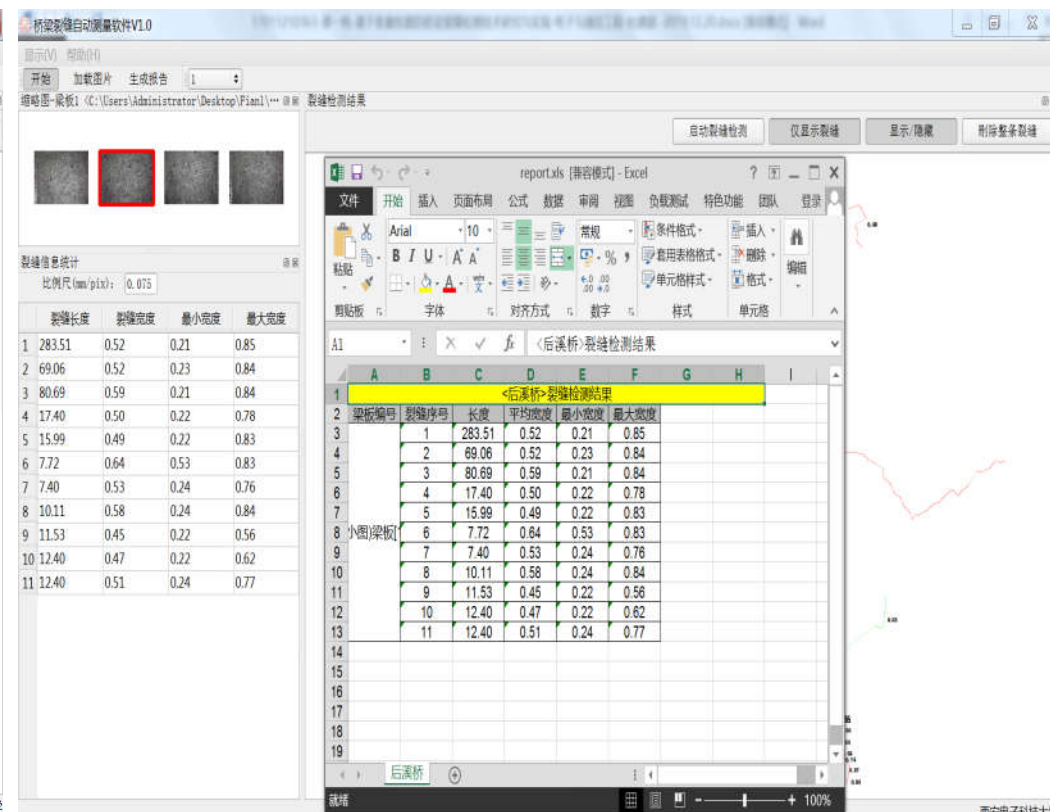
人工修订部分：



10 cracks detected in C:\Users\Administrator\Desktop\VI12.JPG. [11.41]s

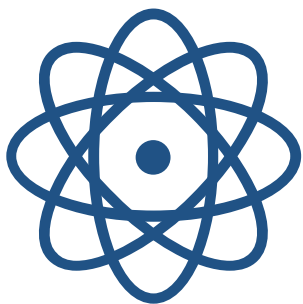
西安电子科技大学

报告生成部分：



后溪桥

西安电子科技大学



总结与展望

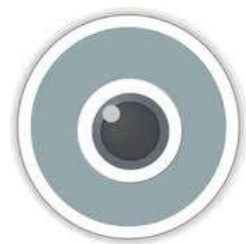


本毕设所做的工作主要有以下几点：

1. 结合裂缝特征，引入张量投票提升裂缝检测结果准确性；
2. 为消除裂缝边缘虚化现象，设计了一种局部灰度直方图均衡化方法；
3. 为克服传统图像拼接方法的工程实用性差的缺点，故本文对传统图像拼接方法和裂缝信息融合方法进行工程优化；
4. 为给用户提供一个便于进行裂缝检测的平台，本文设计了一款裂缝自动检测演示软件。

未来展望主要有以下几点：

1. 在图像采集方面：可以考虑采用线阵扫描相机或者无人机采集桥梁信息，提升采集效率；
2. 在图像预处理方面：添加多种图像预处理手段，为裂缝检测结果的准确性提供保证；
3. 在裂缝信息融合方面：可以考虑其他方法如，在裂缝断裂处重新搜索等方法，提高信息融合的准确性；
4. 演示软件方面：可以将图像拼接和桥梁信息采集模块添加至软件中。



感谢聆听
