



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104700395 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 10

(21) 申请号 201410631933. 0

(22) 申请日 2014. 11. 11

(71) 申请人 长安大学

地址 710064 陕西省西安市南二环中段

(72) 发明人 李刚 贺拴海 巨永锋

(74) 专利代理机构 西安恒泰知识产权代理事务

所 61216

代理人 李郑建 王芳

(51) Int. Cl.

G06T 7/00(2006. 01)

权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种构造物外观裂缝检测方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种构造物外观裂缝检测方法及系统:读取路面图像,在路面图像上截取矩形的感兴趣区域,并对其进行 Contourlet 变换算法得到增强图像;对增强图像中的目标裂缝进行边缘提取,对边缘像素点相邻区域使用 Canny 边缘检测算子,将边缘像素点替代 GAC 模型边缘像素点得到二值化图像;得到最终的目标裂缝;计算最终的目标裂缝两个端点的横纵坐标之差,得到最终的目标裂缝与水平方向的夹角,旋转该裂缝至水平方向;计算裂缝宽度的最大最小值以及平均宽度值;计算目标裂缝的实际物理宽度。本发明有效降低系统运行时间,保证了分割后图像中的裂缝边缘与原始图像裂缝边缘完全保持一致,裂缝检测误差极小。

1. 一种构造物外观裂缝检测方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤 1:读取路面图像,在路面图像上截取矩形的感兴趣区域,并对其进行 2~5 次基于完全冗余 Contourlet 变换算法进行图像增强处理,得到增强图像;

步骤 2:利用 GAC 模型对步骤 1 得到的增强图像中的目标裂缝进行边缘提取得到边缘像素点,对每个边缘像素点相邻区域使用 Canny 边缘检测算子处理,将处理得到的边缘像素点替代 GAC 模型边缘像素点,最终得到二值化图像;

步骤 3:去除步骤 2 得到的二值化图像中的孤立噪声点;

步骤 4:对步骤 3 得到的二值化图像进行标记得到标记图像,并得到最终的目标裂缝;

步骤 5:计算步骤 4 得到的最终的目标裂缝的两个端点的横坐标之差和纵坐标之差,得到最终的目标裂缝与水平方向的夹角,旋转该裂缝至水平方向;计算该条裂缝的宽度的最大值、最小值以及平均宽度值;

步骤 6:计算目标裂缝的实际物理宽度 A。

2. 如权利要求 1 所述的构造物外观裂缝检测方法,其特征在于,所述步骤 2 包括以下步骤:

步骤 21:通过 GAC 模型对增强图像中目标裂缝进行边缘提取,将得到的每个边缘像素点的坐标存入数组  $A_1$ ;

步骤 22:逐一读取数组  $A_1$  中的边缘像素点,将每个边缘像素点相邻  $5 \times 5$  区域的所有像素点的灰度值使用 Canny 边缘检测算法进行处理,将处理后得到的矩阵中数值 1 对应的像素点作为有效的边缘像素点,并将它们的坐标存入数组  $A_2$ ;

步骤 23:从数组  $A_1$  读出目标裂缝的两个端点的坐标,计算该两个端点的横坐标之差以及纵坐标之差,根据差值得到目标裂缝的方向;

步骤 24:对数组  $A_1$  和数组  $A_2$  求交集,将得到的像素点在增强图像中的灰度值均设为 255,同时将增强图像中其余像素点的灰度值均设为 0,得到二值化图像。

3. 如权利要求 1 所述的构造物外观裂缝检测方法,其特征在于,所述步骤 3 包括以下步骤:

步骤 31:利用  $3 \times 3$  模板扫描步骤 2 得到的二值化图像,若二值化图像中像素点的连续区域小于  $3 \times 3$  模板,则认为该连续区域是噪声,将其去除,否则保留;

步骤 32:在步骤 31 得到的去噪后的二值化图像中,用长度为 4 个像素的线段,分别在目标裂缝方向的夹角为  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$  和  $150^\circ$  六个方向扫描步骤 1 得到的二值化图像,扫描的同时将线段的每个像素点与其覆盖的二值化图像中的像素点的像素值进行“与”操作,如果线段上四个像素点对应操作结果均为 1,则就保留二值化图像中被线段覆盖的四个像素值,否则将其作为噪声点去除,得到去噪后的二值化图像。

4. 如权利要求 1 所述的构造物外观裂缝检测方法,其特征在于,所述步骤 4 包括以下步骤:

步骤 41:采用像素标记法将步骤 3 得到的二值化图像分割为几个独立的连通区域,并用连续数值标记这些连通区域,得到标记的二值化图像;

步骤 42:在标记的二值图像中找出灰度值为 255 的像素点最多的连通区域作为最终的目标裂缝,将其他的连通区域的像素点的灰度值均修改为 0。

5. 如权利要求 1 所述的构造物外观裂缝检测方法,其特征在于,所述步骤 5 中所述计算

该条裂缝的宽度的最大值、最小值以及平均宽度值,包括以下步骤:

依次读取水平方向的每个点处对应所述裂缝的高度,作为水平方向上每个点的裂缝宽度值,存入数组  $A_3$ ,分别找出数组  $A_3$  中裂缝宽度值的最大的 5 个和最小的 5 个;对最大 5 个值求和后取平均值,作为该条裂缝宽度的最大值;对最小 5 个值求和后取平均值,作为该条裂缝宽度的最小值;对数组  $A_3$  求平均值,作为该条裂缝的平均宽度  $A'$ 。

6. 如权利要求 1 所述的构造物外观裂缝检测方法,其特征在于,所述步骤 6 的计算公式如下:

$$A = \frac{L-f}{f} \times A' \times \frac{a}{a'}$$

式中,  $L$  为物距,单位: mm,  $f$  为镜头焦距,单位: mm;  $A$  为目标裂缝的实际物理宽度,单位: mm;  $A'$  为最终的目标裂缝的像素数;  $a$  为相机 CCD 长边的物理长度,  $a'$  为拍摄图像长边逻辑像素点数。

7. 一种构造物外观裂缝检测系统,其特征在于,具体包括如下模块:

路面图像增强模块,用于读取路面图像,在路面图像上截取矩形的感兴趣区域,并对其进行 2~5 次基于完全冗余 Contourlet 变换算法进行图像增强处理,得到增强图像;

边缘像素提取及二值化模块,用于利用 GAC 模型对路面图像增强模块输出的增强图像中的目标裂缝进行边缘提取得到边缘像素点,对每个边缘像素点相邻区域使用 Canny 边缘检测算子处理,将处理得到的边缘像素点替代 GAC 模型边缘像素点,得到二值化图像;

去噪模块,用于去除得到的二值化图像中的孤立噪声点;

标记模块,用于对去噪模块输出的二值化图像进行标记得到标记图像,并得到最终的目标裂缝;

裂缝提取模块,用于计算最终的目标裂缝的两个端点的横坐标之差和纵坐标之差,得到最终的目标裂缝与水平方向的夹角,旋转该裂缝至水平方向;计算该条裂缝的宽度的最大值、最小值以及平均宽度值;

裂缝宽度计算模块,用于计算目标裂缝的实际物理宽度  $A$ 。

8. 如权利要求 7 所述的构造物外观裂缝检测方法,其特征在于,所述边缘像素提取及二值化模块包括如下子模块:

第一子模块,用于通过 GAC 模型对增强图像中目标裂缝进行边缘提取,将得到的每个边缘像素点的坐标存入数组  $A_1$ ;

第二子模块,用于逐一读取数组  $A_1$  中的边缘像素点,将每个边缘像素点相邻  $5 \times 5$  区域的所有像素点的灰度值使用 Canny 边缘检测算法进行处理,将处理后得到的矩阵中数值 1 对应的像素点作为有效的边缘像素点,并将它们的坐标存入数组  $A_2$ ;

第三子模块,用于从数组  $A_1$  读出目标裂缝的两个端点的坐标,计算该两个端点的横坐标之差以及纵坐标之差,根据差值得到目标裂缝的方向;

第四子模块,用于对数组  $A_1$  和数组  $A_2$  求交集,将得到的像素点在增强图像中的灰度值均设为 255,同时将增强图像中其余像素点的灰度值均设为 0,得到二值化图像。

9. 如权利要求 6 所述的构造物外观裂缝检测方法,其特征在于,所述去噪模块包括以下子模块:

第一子模块,用于利用  $3 \times 3$  模板扫描边缘像素提取及二值化模块输出的二值化图像,

若二值化图像中像素点的连续区域小于  $3 \times 3$  模板,则认为该连续区域是噪声,将其去除,否则保留;

第二子模块,用于在所述第一子模块得到的去噪后的二值化图像中,用长度为 4 个像素的线段,分别在目标裂缝方向的夹角为  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$  和  $150^\circ$  六个方向扫描步 1 得到的二值化图像,扫描的同时将线段的每个像素点与其覆盖的二值化图像中的像素点的像素值进行“与”操作,如果线段上四个像素点对应操作结果均为 1,则就保留二值化图像中被线段覆盖的四个像素值,否则将其作为噪声点去除,得到去噪后的二值化图像。

10. 如权利要求 1 所述的构造物外观裂缝检测方法,其特征在于,所述标记模块包括以下子模块:

第一子模块,用于采用像素标记法将去噪模块输出的二值化图像分割为几个独立的连通区域,并用连续数值标记这些连通区域,得到标记的二值化图像;

第二子模块,用于在标记的二值图像中找出灰度值为 255 的像素点最多的连通区域作为最终的目标裂缝,将其他的连通区域的像素点的灰度值均修改为 0。

## 一种构造物外观裂缝检测方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于构造物外观裂缝检测技术领域,具体涉及一种构造物外观裂缝的检测方法及系统。

### 背景技术

[0002] 定期检测构造物外观的裂缝是否产生和扩展,是有效减少其病害状况及其影响的重要手段。当建筑物、公路、桥梁、隧道以及钢结构等构造物中出现裂缝时必须及时修复,否则将导致构造物内部的损坏或者锈蚀,严重危害构造安全。传统的裂缝检测手段为接触式检测,需要检测人员利用脚手架或云梯等在构造物表面近距离观测,一般由检测人员利用读数显微镜进行人工读数和记录,其危险性极高、劳动强度巨大、检测的客观性严重缺失。而目前先进的无损检测方法如弹性波法、电磁波法及传感仪器检测法则存在着仪器昂贵、测量范围小、无法完全实现非接触测量等缺点。

[0003] 近年来,CCD 技术取得了惊人的发展。CCD 摄像机具有较高的动态范围、分辨率和灵敏度,能够有效地实现逆光的背景补偿,能够自动跟踪白平衡,并以数字化图像再现原始图像,因此人们开始采用 CCD 像机获取构造物表面图像,并通过对图像的分析获得可用信息。基于图像处理的构造物外观裂缝检测方法同时受到了众多研究者的关注。其中,裂缝是构造物外观图像的敏感区域,其提供了用于图像分割的重要信息。由于拍摄光照不同、构造物表面污染、缺陷目标形态的多样性以及受不均匀光照的影响,使得图像处理算法的优化成为裂缝提取过程中的关键。

[0004] 目前,国内外针对基于图像处理的结构物外观破损自动检测算法虽然也进行了长期的研究,但绝大部分的研究工作都是建立在采集的结构物外观图像质量很好、破损形态简单且破损目标特征清晰的条件下。当采集到的结构物外观图像背景灰度不一致、存在大量噪声时,这些算法就无法准确识别裂缝目标,如果综合考虑各种构造物外观状况以及图像的高噪声、弱信号特点,将使得识别算法极为复杂,处理速度将非常缓慢。因此,目前仍缺少真正能广泛推广的结构物外观裂缝检测方法。

### 发明内容

[0005] 针对上述现有技术中存在的缺陷或不足,本发明的一个目的在于,提供一种构造物外观裂缝检测方法。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案予以实现:

[0007] 一种构造物外观裂缝检测方法,具体包括如下步骤:

[0008] 步骤 1:读取路面图像,在路面图像上截取矩形的感兴趣区域,并对其进行 2~5 次基于完全冗余 Contourlet 变换算法进行图像增强处理,得到增强图像;

[0009] 步骤 2:利用 GAC 模型对步骤 1 得到的增强图像中的目标裂缝进行边缘提取得到边缘像素点,对每个边缘像素点相邻区域使用 Canny 边缘检测算子处理,将处理得到的边缘像素点替代 GAC 模型边缘像素点,最终得到二值化图像;

- [0010] 步骤 3 :去除步骤 2 得到的二值化图像中的孤立噪声点 ;
- [0011] 步骤 4 :对步骤 3 得到的二值化图像进行标记得到标记图像,并得到最终的目标裂缝 ;
- [0012] 步骤 5 :计算步骤 4 得到的最终的目标裂缝的两个端点的横坐标之差和纵坐标之差,得到最终的目标裂缝与水平方向的夹角,旋转该裂缝至水平方向 ;计算该条裂缝的宽度的最大值、最小值以及平均宽度值 ;
- [0013] 步骤 6 :计算目标裂缝的实际物理宽度 A。
- [0014] 进一步的,所述步骤 2 包括以下步骤 :
- [0015] 步骤 21 :通过 GAC 模型对增强图像中目标裂缝进行边缘提取,将得到的每个边缘像素点的坐标存入数组  $A_1$  ;
- [0016] 步骤 22 :逐一读取数组  $A_1$  中的边缘像素点,将每个边缘像素点相邻  $5 \times 5$  区域的所有像素点的灰度值使用 Canny 边缘检测算法进行处理,将处理后得到的矩阵中数值 1 对应的像素点作为有效的边缘像素点,并将它们的坐标存入数组  $A_2$  ;
- [0017] 步骤 23 :从数组  $A_1$  读出目标裂缝的两个端点的坐标,计算该两个端点的横坐标之差以及纵坐标之差,根据差值得到目标裂缝的方向 ;
- [0018] 步骤 24 :对数组  $A_1$  和数组  $A_2$  求交集,将得到的像素点在增强图像中的灰度值均设为 255,同时将增强图像中其余像素点的灰度值均设为 0,得到二值化图像。
- [0019] 进一步的,所述步骤 3 包括以下步骤 :
- [0020] 步骤 31 :利用  $3 \times 3$  模板扫描步骤 2 得到的二值化图像,若二值化图像中像素点的连续区域小于  $3 \times 3$  模板,则认为该连续区域是噪声,将其去除,否则保留 ;
- [0021] 步骤 32 :在步骤 31 得到的去噪后的二值化图像中,用长度为 4 个像素的线段,分别在目标裂缝方向的夹角为  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$  和  $150^\circ$  六个方向扫描步 1 得到的二值化图像,扫描的同时将线段的每个像素点与其覆盖的二值化图像中的像素点的像素值进行“与”操作,如果线段上四个像素点对应操作结果均为 1,则就保留二值化图像中被线段覆盖的四个像素值,否则将其作为噪声点去除,得到去噪后的二值化图像。
- [0022] 进一步的,所述步骤 4 包括以下步骤 :
- [0023] 步骤 41 :采用像素标记法将步骤 3 得到的二值化图像分割为几个独立的连通区域,并用连续数值标记这些连通区域,得到标记的二值化图像 ;
- [0024] 步骤 42 :在标记的二值图像中找出灰度值为 255 的像素点最多的连通区域作为最终的目标裂缝,将其他的连通区域的像素点的灰度值均修改为 0。
- [0025] 进一步的,所述步骤 5 中所述计算该条裂缝的宽度的最大值、最小值以及平均宽度值,包括以下步骤 :
- [0026] 依次读取水平方向的每个点处对应所述裂缝的高度,作为水平方向上每个点的裂缝宽度值,存入数组  $A_3$ ,分别找出数组  $A_3$  中裂缝宽度值的最大的 5 个和最小的 5 个 ;对最大 5 个值求和后取平均值,作为该条裂缝宽度的最大值 ;对最小 5 个值求和后取平均值,作为该条裂缝宽度的最小值 ;对数组  $A_3$  求平均值,作为该条裂缝的平均宽度  $A'$  。
- [0027] 进一步的,所述步骤 6 的计算公式如下 :

$$[0028] \quad A = \frac{L-f}{f} \times A' \times \frac{a}{a'}$$

[0029] 式中,  $L$  为物距, 单位 :mm,  $f$  为镜头焦距, 单位 :mm ;  $A$  为目标裂缝的实际物理宽度, 单位 :mm ;  $A'$  为目标裂缝的平均宽度值 ;  $a$  为相机 CCD 长边的物理长度,  $a'$  为拍摄图像长边逻辑像素点数。

[0030] 本发明的另一个目的在于, 提供一种构造物外观裂缝检测系统, 具体包括如下模块 :

[0031] 路面图像增强模块, 用于读取路面图像, 在路面图像上截取矩形的感兴趣区域, 并对其进行 2 ~ 5 次基于完全冗余 Contourlet 变换算法进行图像增强处理, 得到增强图像 ;

[0032] 边缘像素提取及二值化模块, 用于利用 GAC 模型对路面图像增强模块输出的增强图像中的目标裂缝进行边缘提取得到边缘像素点, 对每个边缘像素点相邻区域使用 Canny 边缘检测算子处理, 将处理得到的边缘像素点替代 GAC 模型边缘像素点, 得到二值化图像 ;

[0033] 去噪模块, 用于去除得到的二值化图像中的孤立噪声点 ;

[0034] 标记模块, 用于对去噪模块输出的二值化图像进行标记得到标记图像, 并得到最终的目标裂缝 ;

[0035] 裂缝提取模块, 用于计算最终的目标裂缝的两个端点的横坐标之差和纵坐标之差, 得到最终的目标裂缝与水平方向的夹角, 旋转该裂缝至水平方向 ; 计算该条裂缝的宽度的最大值、最小值以及平均宽度值 ;

[0036] 裂缝宽度计算模块, 用于计算目标裂缝的实际物理宽度  $A$ 。

[0037] 进一步的, 所述边缘像素提取及二值化模块包括如下子模块 :

[0038] 第一子模块, 用于通过 GAC 模型对增强图像中目标裂缝进行边缘提取, 将得到的每个边缘像素点的坐标存入数组  $A_1$  ;

[0039] 第二子模块, 用于逐一读取数组  $A_1$  中的边缘像素点, 将每个边缘像素点相邻  $5 \times 5$  区域的所有像素点的灰度值使用 Canny 边缘检测算法进行处理, 将处理后得到的矩阵中数值 1 对应的像素点作为有效的边缘像素点, 并将它们的坐标存入数组  $A_2$  ;

[0040] 第三子模块, 用于从数组  $A_1$  读出目标裂缝的两个端点的坐标, 计算该两个端点的横坐标之差以及纵坐标之差, 根据差值得到目标裂缝的方向 ;

[0041] 第四子模块, 用于对数组  $A_1$  和数组  $A_2$  求交集, 将得到的像素点在增强图像中的灰度值均设为 255, 同时将增强图像中其余像素点的灰度值均设为 0, 得到二值化图像。

[0042] 进一步的, 所述去噪模块包括以下子模块 :

[0043] 第一子模块, 用于利用  $3 \times 3$  模板扫描边缘像素提取及二值化模块输出的二值化图像, 若二值化图像中像素点的连续区域小于  $3 \times 3$  模板, 则认为该连续区域是噪声, 将其去除, 否则保留 ;

[0044] 第二子模块, 用于在所述第一子模块得到的去噪后的二值化图像中, 用长度为 4 个像素的线段, 分别在与目标裂缝方向的夹角为  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$  和  $150^\circ$  六个方向扫描步 1 得到的二值化图像, 扫描的同时将线段的每个像素点与其覆盖的二值化图像中的像素点的像素值进行“与”操作, 如果线段上四个像素点对应操作结果均为 1, 则就保留二值化图像中被线段覆盖的四个像素值, 否则将其作为噪声点去除, 得到去噪后的二值化图像。

[0045] 进一步的, 所述标记模块包括以下子模块 :

[0046] 第一子模块, 用于采用像素标记法将去噪模块输出的二值化图像分割为几个独立

的连通区域,并用连续数值标记这些连通区域,得到标记的二值化图像;

[0047] 第二子模块,用于在标记的二值图像中找出灰度值为 255 的像素点最多的连通区域作为最终的目标裂缝,将其他的连通区域的像素点的灰度值均修改为 0。

[0048] 与现有的裂缝检测方法相比较,本发明的有益效果如下:

[0049] 1) 相比目前国内外现有裂缝检测手段,本发明的系统结构简单明确、操作过程容易掌握、人工劳动强度低、多种数据有效融合,且投入成本较低;

[0050] 2) 本发明通过人工交互式方法对结构物外观图像中的裂缝敏感区域进行任意大小的截取,可大幅降低光照不均及图像背景噪声点的影响,减少图像处理算法的处理范围,有效降低系统运行时间;

[0051] 3) 结合 GAC 模型和 Canny 迭代算法,保证了分割后图像中的裂缝边缘与原始图像裂缝边缘完全保持一致,裂缝检测误差极小;

[0052] 4) 无需用贴片等方式进行裂缝标定,能够依据物距与镜头焦距等参数的关系,提取结构物外观任意位置裂缝物理宽度,同时通过对 5 组数据的进行均值运算,进一步降低裂缝宽度计算的误差,因此检测精度较高。

## 附图说明

[0053] 图 1 是本发明中构造物外观图像的采集装置的结构框图。

[0054] 图 2 是本发明的结构物外观裂缝检测方法的流程图。

[0055] 以下结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明。

## 具体实施方式

[0056] 以下是发明人给出的实施例,需要说明的是,给出以下实施例的目的是为了清楚地说明本发明的具体执行过程,本发明所要求保护的范围不限于该实施例。

[0057] 实施例:

[0058] 首先,需要说明的是,本发明的构造物外观裂缝检测方法所处理的原始对象为构造物外观图像,如图 1 所示,本实施例中,构造物外观图像的采集装置由数字单反相机、长焦镜头、增距仪、相机闪光灯、红外距离传感器和角度传感器组成。针对远距离非接触构造物外观裂缝的检测精度要求,数字单反相机选用 Nikon D300,其分辨率达到  $4288 \times 2048$  像素。依据成像原理,要求镜头焦距达到 1000mm 以上才能在 20m 距离检测到 0.1mm 的裂缝,同时考虑成本因素;采用 500mm 长焦镜头,搭配增距仪,使成像焦距达到 1000mm。拍摄图像时可利用计算机控制相机快门,避免手动拍摄时造成的抖动。

[0059] 如图 1、图 2 所示,本实施例的构造物外观裂缝检测方法,具体包括如下步骤:

[0060] 步骤 1:读取路面图像,在路面图像上截取一个  $60 \times 30$  像素大小的感兴趣区域,并对其进行 3 次基于完全冗余 Contourlet 变换算法进行图像增强处理,得到如图 2(b) 所示的增强图像。

[0061] 该步骤的目的是为了使裂缝边缘清晰化,使背景平滑。其中,所述的基于完全冗余 Contourlet 变换算法采用《Contourlet 变换 - 影像处理应用》中 2.3 节的记载。

[0062] 步骤 2:利用 GAC 模型对步骤 1 得到的增强图像中的目标裂缝进行边缘提取得到边缘像素点,对每个边缘像素点相邻区域使用 Canny 边缘检测算子处理,将处理得到的边



缘像素点替代 GAC 模型边缘像素点,最终得到二值化图像。具体步骤如下:

[0063] 步骤 21:通过 GAC 模型对增强图像中目标裂缝进行边缘提取,将得到的每个边缘像素点的坐标存入数组  $A_1$ ;

[0064] 步骤 22:逐一读取数组  $A_1$  中的边缘像素点,将每个边缘像素点相邻  $5 \times 5$  区域的所有像素点的灰度值使用 Canny 边缘检测算法进行处理,将处理后得到的矩阵中数值 1 对应的像素点作为有效的边缘像素点,并将它们的坐标存入数组  $A_2$ ;

[0065] 步骤 23:从数组  $A_1$  读出目标裂缝的两个端点的坐标,计算该两个端点的横坐标之差以及纵坐标之差,根据差值得到目标裂缝的方向;

[0066] 步骤 24:对数组  $A_1$  和数组  $A_2$  求交集,将得到的像素点在增强图像中的灰度值均设为 255,同时将增强图像中其余像素点的灰度值均设为 0,得到如图 2(c) 所示的二值化图像。

[0067] 步骤 3:去除步骤 2 得到的二值化图像中的孤立噪声点;该步骤的目的是完全去除步骤 2 得到的二值化图像中孤立的噪声点。具体步骤如下:

[0068] 步骤 31:利用  $3 \times 3$  模板扫描步骤 3 得到的二值化图像,若图像中像素点的连续区域小于  $3 \times 3$  模板,则认为该连续区域是噪声,将其去除,否则保留;其中,去除是指将该连续区域像素灰度值设置为 0,保留则是将该连续区域的像素灰度值设置为 255。

[0069] 步骤 32:在步骤 31 得到的去噪后的二值化图像中,用长度为 4 个像素的线段,在与目标裂缝方向的夹角为  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$  和  $150^\circ$  共六个方向分别扫描步骤 31 得到的二值化图像,扫描的同时将线段的每个像素点与其覆盖的二值化图像中的像素点的像素值进行“与”操作,如果线段上四个像素点对应操作结果均为 1,则就保留二值化图像中被线段覆盖的四个像素值,否则将其作为噪声点去除,得到去噪后的二值化图像。

[0070] 由于工程实践中发现,由于构造物受外力影响,产生的裂缝方向多种多样,因此,相比其他算法采用的四方向算法,本发明采用六个方向的线段进行扫描,能够更好的保留尽可能多方向上的裂缝,减少算法的误差。

[0071] 步骤 4:对步骤 3 得到的二值化图像进行标记得到标记图像,并得到最终的目标裂缝。具体步骤如下:

[0072] 步骤 41:采用像素标记法将步骤 3 得到的二值化图像分割为几个独立的连通区域,并用连续数值标记这些连通区域,得到如图 2(d) 所示的标记的二值化图像;

[0073] 步骤 42:在标记的二值图像中找出灰度值为 255 的像素点最多的连通区域作为最终的目标裂缝,将其他的连通区域的像素点的灰度值均置为 0。运行结果见图 2(e)。

[0074] 步骤 5:计算步骤 4 得到的最终的目标裂缝的两个端点的横坐标之差和纵坐标之差,得到最终的目标裂缝与水平方向的夹角,旋转该裂缝至水平方向;依次读取水平方向的每个点处对应的裂缝的高度,作为水平方向上每个点的裂缝宽度值,存入数组  $A_3$ ,分别找出数组  $A_3$  中裂缝宽度值的最大的 5 个值和最小的 5 个值。对最大的 5 个值求和后取平均值,作为该条裂缝宽度的最大值;对最小的 5 个值求和后取平均值,作为该条裂缝宽度的最小值;以降低裂缝计算误差。另外,对数组  $A_3$  求平均值,作为该条裂缝的平均宽度  $A'$ 。

[0075] 步骤 6:计算目标裂缝的实际物理宽度;计算原理如下:

[0076] 已知透镜成像公式:

$$[0077] \quad \frac{1}{L'} + \frac{1}{L} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

[0078] 其中,  $L'$  为相距, 单位 :mm ;  $L$  为物距, 物距指测距装置与被测目标之间的距离, 单位 :mm ;  $f$  为镜头焦距 (单位 :mm) ; 由式 (1) 得式 (2) :

$$[0079] \quad L' = \frac{Lf}{L-f} \quad (2)$$

[0080] 另外, 成像放大倍数  $\theta$  为 :

$$[0081] \quad \theta = \frac{A'}{A} = \frac{L'}{L} \Rightarrow A = \frac{L}{L'} A' \quad (3)$$

[0082] 其中,  $A$  为目标尺寸, 目标尺寸即裂缝实际物理宽度, 单位 :mm ;  $A'$  为平均宽度值, 在本发明中即步骤 5 得到的图像中目标裂缝宽度的最大值、最小值和平均宽度值  $A'$  。

[0083] 综上, 在物距  $L$  与镜头焦距  $f$  已知的情况下, 当测量出目标裂缝的平均宽度值  $A'$  , 即得到裂缝实际物理宽度  $A$  :

$$[0084] \quad A = \frac{L-f}{f} \times A' \times \frac{a}{a'} \quad (4)$$

[0085] 式中,  $a$  为相机 CCD 长边的物理长度,  $a'$  为拍摄图像长边逻辑像素点数。

[0086] 本实施例中, 拍摄距离为 16 米, 即物距  $L$  取值为 16000mm, 镜头焦距  $f$  为 1000mm,  $A'$  为步骤 6 得到的裂缝宽度像素数, Nikon D300 系列单反相机, 故相机 CCD 长边的物理长度  $a = 23.6$ , 拍摄图像长边逻辑像素点数  $a' = 4288$ 。

[0087] 按照本发明提出的裂缝检测方法, 并依据上述公式求得该条裂缝宽度最大值为 0.15mm, 最小值为 0.13mm, 裂缝平均宽度  $A'$  为 0.14mm ; 同时, 对该路面上的对应目标裂缝采用人工显微镜进行观测, 观测得到的裂缝宽度为 0.15mm, 与本发明得到的裂缝的平均宽度进行比较, 误差为 0.01mm。可见, 采用本发明的裂缝检测方法进行裂缝检测, 其检测误差较小。

[0088] 由于采用人机交互方式截取裂缝目标, 本发明的裂缝检测算法大大减少了后续图像处理算法的运算区域, 相比其他算法快。

[0089] 在算法实现程序中加入了时间检测函数可得上述图像分割算法的运算延时, 见表 1。

[0090] 表 1 裂缝图像处理算法延时

[0091]

	迭 代	数 学 形 态 学	几 何 活 动 轮 廓	C-V 模 型 算 法	本 发 明 算 法
	Canny 算 法	算 法	模 型 算 法		
	法				
裂缝处理延时	96ms	133ms	115ms	232ms	63ms

[0092] 从表 1 的结果可以看出, 本文的算法运行时间明显少于迭代 Canny 算法、数学形态学算法、几何活动轮廓模型算法和 C-V 模型算法的运行时间。

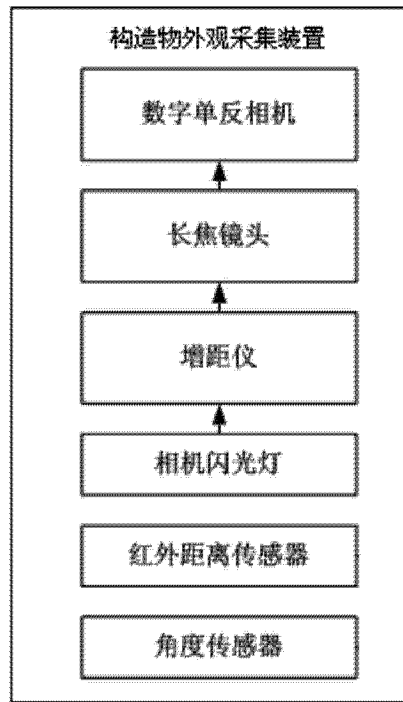


图 1

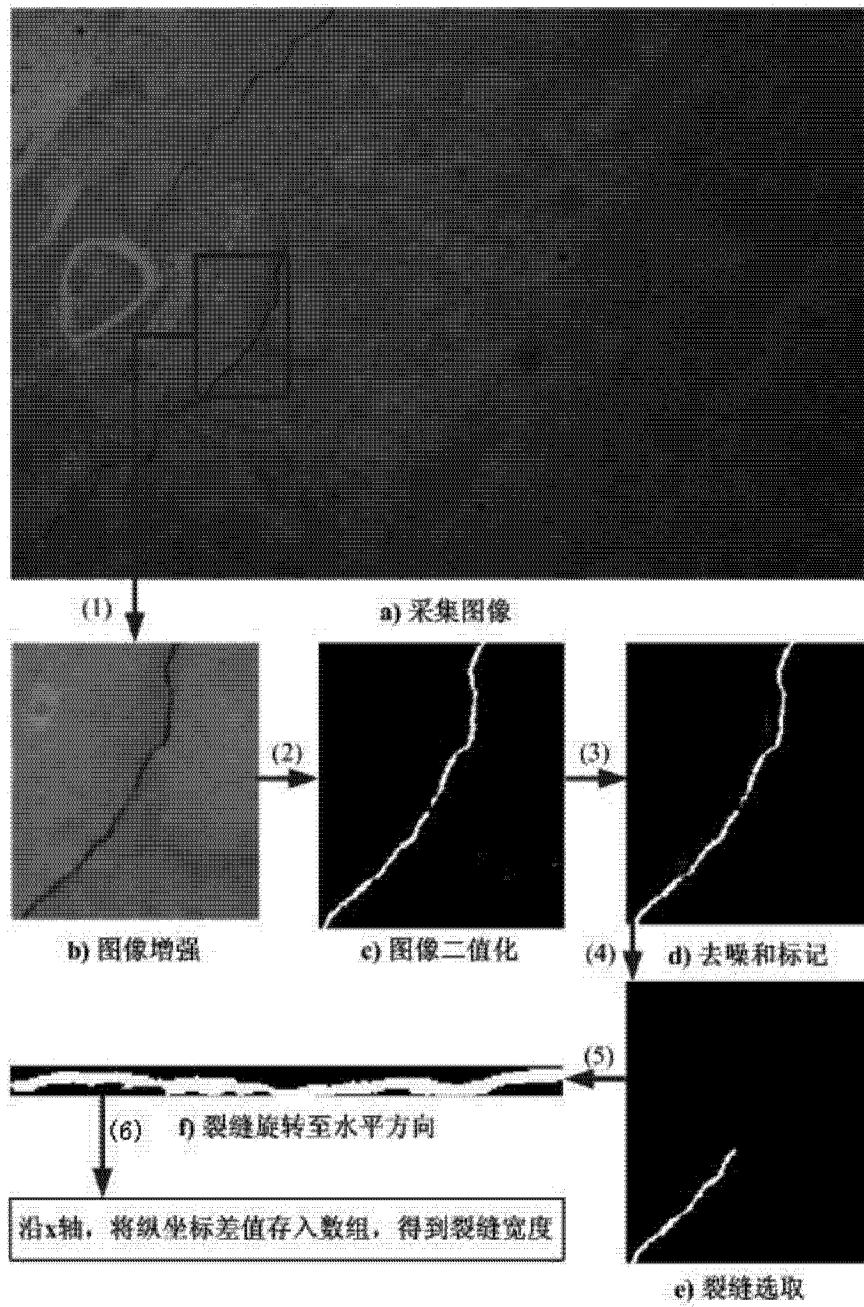


图 2