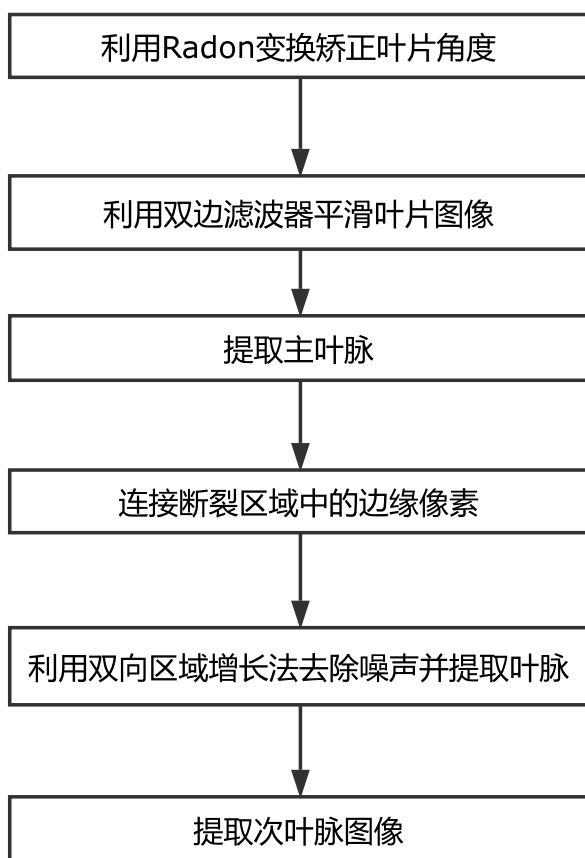


说明书摘要

本发明公开了一种基于窗口动态阈值改进 Canny 算子的叶脉提取算法，包括矫正叶片角度、利用双边滤波器平滑矫正叶片图像、提取主叶脉、利用双向区域增长法去除噪声并提取叶脉等步骤，本发明使用双边滤波替代了传统 Canny 算子中使用的高斯滤波，使得后继边缘提取的结果中保留了更多的边缘，并提高了长边缘的连通性；利用基于窗口动态阈值改进的 Canny 算子代替了具有全局性固定 Canny 阈值的传统 Canny 算子，有效地补全缺失的叶脉；利用双向区域增长法，在去除噪声的同时，提取并分离出具有较完整细节的主次叶脉。

摘要附图



权 利 要 求 书

1、一种基于窗口动态阈值改进 Canny 算子的叶脉提取算法，其特征在于：包括以下具体步骤：

(1) 矫正叶片角度：利用 Radon 变换获得主叶脉方向，以进行方向矫正：Radon 变换的计算方法为：

$$R(\theta, \rho) = \iint I(x, y) \delta(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy \quad (1)$$

$$\text{其中 } \delta(\omega) = \begin{cases} 0, & \omega \neq 0 \\ 1, & \omega = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中 $I(x, y)$ 为叶片图像在直角坐标系下坐标 (x, y) 处的灰度值， (ρ, θ) 为 (x, y) 在极坐标系下的坐标；

通过计算各个方向的投影积分，求得到与叶脉方向对应的旋转矩阵：

$$\begin{pmatrix} \cos \theta_0 & -\sin \theta_0 & x_0 - x_0 \cos \theta_0 + y_0 \sin \theta_0 \\ \sin \theta_0 & \cos \theta_0 & y_0 - x_0 \sin \theta_0 - y_0 \cos \theta_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中 θ_0 为 $R(\theta, \rho)$ 取最大值时的 θ 值，即旋转弧度， (x_0, y_0) 为图像的旋转中心。

利用叶脉方向矩阵矫正叶片图像，得到矫正方向后的图像 $I'(x', y')$ ：

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_0 & -\sin \theta_0 & x_0 - x_0 \cos \theta_0 + y_0 \sin \theta_0 \\ \sin \theta_0 & \cos \theta_0 & y_0 - x_0 \sin \theta_0 - y_0 \cos \theta_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中 (x', y') 为矫正叶片图像中与叶片图像中 (x, y) 像素对应的像素；

(2) 利用双边滤波器平滑叶片图像：

$$g(x, y) = \frac{\sum_{(x', y') \in D} f(x', y') w(x, y, x', y')}{\sum_{(x', y') \in D} w(x, y, x', y')} \quad (5)$$

其中， $g(x, y)$ 为平滑处理后的图像在坐标 (x, y) 处的灰度值， D 为 (x, y) 的

邻域窗口， $f(x', y')$ 为窗口内的像素值，权重系数 $w(x', y', k, l)$ 为定义域核 $d(x, y, x', y')$ 和值域核 $r(x, y, x', y')$ 的乘积， σ_d, σ_r 分别为 d, r 中高斯函数的标准差：

$$\begin{aligned} w(x, y, x', y') &= d(x, y, x', y') \times r(x, y, x', y') \\ &= \exp \left(-\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{2\sigma_d^2} - \frac{\|f(x, y) - f(x', y')\|^2}{2\sigma_r^2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

(3) 提取主叶脉：将平滑矫正后的叶片图像进行 Canny 算子边缘检测，得到检测结果图像，将检测结果图像划分为宽度 $w(w \geq 1)$ 的区域作为待增强区域，依次扫描断裂行，所述断裂行为存在断裂点的行，相邻的断裂行组成断裂区域，对各断裂区域进行迭代检测，将断裂区域划分为各下限级别子断裂区域，直至达到停止条件为止，当断裂区域中边缘像素点百分比高于预设阈值时，提高 Canny 算子边缘检测的上限阈值和下限阈值，当断裂区域中边缘像素点百分比低于预设阈值时，降低 Canny 算子边缘检测的上限阈值和下限阈值，所述停止条件为消除了各级别子断裂，或断裂区域中连续 N 次迭代处理中边缘像素点数目不变， N 为整数，或孤立边缘像素点数目增加；

(4) 连接断裂区域中的边缘像素：手动处理，连接断裂区域中的边缘像素，使主叶脉连通，得到主次叶脉图像；

(5) 利用双向区域增长法去除噪声并提取叶脉：去除主次叶脉图像的外轮廓后，分别选取主叶脉的上顶点和下顶点进行区域增长，将两个结果图进行与操作之后，再进行膨胀操作，再将膨胀操作结果与主次叶脉图做与操作，获得主叶脉图像；

(6) 提取次叶脉图像：将主次叶脉图像减去主叶脉图像，得到次叶脉图像，检测次叶脉图像中各连通域即可得到各次叶脉的相应坐标。

2、根据权利要求1所述的基于窗口动态阈值改进Canny算子的叶脉提取算法，所述叶片图像中包括2片或2片以上树叶，其特征在于：还包括分割叶片和重排叶脉的步骤；

所述分割叶片步骤首先通过阈值化和形态学操作得到1个以上的白色连通域，连通域的外轮廓长大于等于预设阈值的连通域为各叶片所占区域；再通过K-means聚类获得各叶片分区域，逐行按叶片分区域的最小纵坐标排序；

所述分重排叶脉步骤将提取到的各叶片的叶脉按原序拼接。

基于窗口动态阈值改进 Canny 算子的叶脉提取算法

技术领域

本发明涉及一种基于 Canny 算子的叶脉提取算法,尤其涉及一种基于窗口动态阈值改进 Canny 算子的叶脉提取算法,属于计算机视觉技术领域。

背景技术

叶脉提取,是指从不同形状、摆放的叶脉图像中,利用计算机视觉的手段提取出构成叶片主次叶脉的像素。现有方法主要包括聚类分类、边缘检测、神经网络提取等。随着对于叶片种类识别、叶脉网络系统构建具有重要意义。

Canny 算子,是一种边缘提取算子,针对一幅灰度图像,通过设置双阈值,利用一阶差分种子点进行扩展,最终得到图像的边缘。具体步骤包括高斯滤波、一阶差分计算、非极大值抑制、双线性阈值的设置。相比其他边缘提取算子,往往能够获得较好的信噪比,并可以通过双阈值的调整,使其适应相应的复杂场景,效果较好地提取出边缘,因此常作为边缘提取的首选算子。

对于 Canny 算子而言,如能针对不同场景选定合适的阈值,就能提取出信噪比较好的边缘,然而双阈值的设置往往需要通过经验进行人为的调整;同时,整张图片的各个局部的边缘强度有时也存在较大差异,而传统 Canny 算子中,双阈值是全局共享的,因此往往难以取得适合所有区域的阈值。由此导致其用于叶脉提取时,产生大量的叶脉断裂区、非叶脉边缘,且需要对不同叶片进行不同的阈值设置,因此,需要一种有效的赋予不同边缘强度不同双阈值的方法。

发明内容

本发明要解决的技术问题是提供一种基于窗口动态阈值改进 Canny 算子的叶脉提取算法。

为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:

一种基于窗口动态阈值改进 Canny 算子的叶脉提取算法,包括以下步骤:

(1) 矫正叶片角度:利用 Radon 变换获得主叶脉方向,以进行方向矫正:

Radon 变换的计算方法为:

$$R(\theta, \rho) = \iint I(x, y) \delta(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy \quad (1)$$

$$\text{其中 } \delta(\omega) = \begin{cases} 0, & \omega \neq 0 \\ 1, & \omega = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中 $I(x, y)$ 为叶片图像在直角坐标系下坐标 (x, y) 处的灰度值, (ρ, θ) 为极坐标系下的坐标;

通过计算各个方向的投影积分, 求得需要将图像需要顺时针旋转 θ 度, 主叶脉方为竖直方向, 得到叶脉方向矩阵:

$$\begin{pmatrix} \cos \theta_0 & -\sin \theta_0 & x_0 - x_0 \cos \theta_0 + y_0 \sin \theta_0 \\ \sin \theta_0 & \cos \theta_0 & y_0 - x_0 \sin \theta_0 - y_0 \cos \theta_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中 θ_0 为 $R(\theta, \rho)$ 取最大值时的 θ 值, 即旋转弧度, (x_0, y_0) 为图像的旋转中心。

利用叶脉方向矩阵矫正叶片图像, 得到矫正方向后的图像 $I'(x', y')$:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_0 & -\sin \theta_0 & x_0 - x_0 \cos \theta_0 + y_0 \sin \theta_0 \\ \sin \theta_0 & \cos \theta_0 & y_0 - x_0 \sin \theta_0 - y_0 \cos \theta_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中 θ_0 为 $R(\theta, \rho)$ 取最大值时的 θ 值, 即旋转弧度, (x_0, y_0) 为图像的旋转中心。

利用叶脉方向矩阵矫正叶片图像, 得到矫正方向后的图像 $I'(x', y')$:

(2) 利用双边滤波器平滑叶片图像:

$$g(x, y) = \frac{\sum_{(x', y') \in D} f(x', y') w(x, y, x', y')}{\sum_{(x', y') \in D} w(x, y, x', y')} \quad (5)$$

其中, $g(x, y)$ 为平滑处理后的图像在坐标 (x, y) 处的灰度值, D 为 (x, y) 的邻域窗口, $f(x', y')$ 为窗口内的像素值, 权重系数 $w(x', y', k, l)$ 为定义域核 $d(x, y, x', y')$ 和值域核 $r(x, y, x', y')$ 的乘积, σ_d, σ_r 分别为 d, r 中高斯函数

的标准差:

$$\begin{aligned} w(x, y, x', y') &= d(x, y, x', y') \times r(x, y, x', y') \\ &= \exp \left(-\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{2\sigma_d^2} - \frac{\|f(x, y) - f(x', y')\|^2}{2\sigma_r^2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

(3) 提取主叶脉:将平滑矫正后的叶片图像进行 Canny 算子边缘检测,得到检测结果图像,将检测结果图像划分为宽度 $w(w \geq 1)$ 的区域作为待增强区域,依次扫描断裂行,所述断裂行为存在断裂点的行,相邻的断裂行组成断裂区域,对各断裂区域进行迭代检测,将断裂区域划分为各下限级别子断裂区域,直至达到停止条件为止,当断裂区域中边缘像素点百分比高于预设阈值时,提高 Canny 算子边缘检测的上限阈值和下限阈值,当断裂区域中边缘像素点百分比低于预设阈值时,降低 Canny 算子边缘检测的上限阈值和下限阈值,所述停止条件为消除了各级别子断裂,或断裂区域中连续 N 次迭代处理中边缘像素点数目不变, N 为整数,或孤立边缘像素点数目增加;

(4) 连接断裂区域中的边缘像素:手动处理,连接断裂区域中的边缘像素,使主叶脉连通,得到主次叶脉图像;

(5) 利用双向区域增长法去除噪声并提取叶脉:去除主次叶脉图像的外轮廓后,分别选取主叶脉的上顶点和下顶点进行区域增长,将两个结果图进行与操作之后,再进行膨胀操作,再将膨胀操作结果与主次叶脉图做与操作,获得主叶脉图像;

(6) 提取次叶脉图像:将主次叶脉图像减去主叶脉图像,得到次叶脉图像,检测次叶脉图像中各连通域即可得到各次叶脉的相应坐标。

所述的基于窗口动态阈值改进 Canny 算子的叶脉提取算法,所述叶片图像中包括 2 片或 2 片以上树叶,还包括分割叶片和重排叶脉的步骤;

所述分割叶片步骤首先通过阈值化和形态学操作得到 1 个以上的白色连通域,连通域的外轮廓长大于等于预设阈值的连通域为各叶片所占区域;再通过 K-means 聚类获得各叶片分区域,逐行按叶片分区域的最小纵坐标排序;

所述分重排叶脉步骤将提取到的各叶片的叶脉按原序拼接。

采用上述技术方案所取得的技术效果在于:

- 1) 本发明使用双边滤波替代了传统 Canny 算子中使用的高斯滤波,使得后继边缘提取的结果中保留了更多的边缘,并提高了长边缘的连通性;
- 2) 本发明利用基于窗口动态阈值改进的 Canny 算子代替了具有全局性固定 Canny 阈值的传统 Canny 算子,有效地补全缺失的叶脉;
- 3) 本发明利用双向区域增长法,在去除噪声的同时,提取并分离出具有较完整细节的主次叶脉。

附图说明

下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

图 1 是本发明的流程图;

图 2 是本发明中实施例 1 的叶片图像;

图 3 是本发明中实施例 1 的叶脉提取效果图;

图 4 是本发明中实施例 1 的主叶脉图像;

图 5 是本发明中实施例 1 的次叶脉图像。

具体实施方式

实施例 1:

如图 1 所示,一种基于窗口动态阈值改进 Canny 算子的叶脉提取算法,包括以下具体步骤:

(1) 矫正叶片角度:利用 Radon 变换获得主叶脉方向,以进行方向矫正:

Radon 变换的计算方法为:

$$R(\theta, \rho) = \iint I(x, y) \delta(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy \quad (1)$$

$$\text{其中 } \delta(\omega) = \begin{cases} 0, & \omega \neq 0 \\ 1, & \omega = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中 $I(x, y)$ 为叶片图像在直角坐标系下坐标 (x, y) 处的灰度值, (ρ, θ) 为 (x, y) 在极坐标系下的坐标;

通过计算各个方向的投影积分,求得到与叶脉方向对应的旋转矩阵:

$$\begin{pmatrix} \cos \theta_0 & -\sin \theta_0 & x_0 - x_0 \cos \theta_0 + y_0 \sin \theta_0 \\ \sin \theta_0 & \cos \theta_0 & y_0 - x_0 \sin \theta_0 - y_0 \cos \theta_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中 θ_0 为 $R(\theta, \rho)$ 取最大值时的 θ 值，即旋转弧度， (x_0, y_0) 为图像的旋转中心。

利用叶脉方向矩阵矫正叶片图像，得到矫正方向后的图像 $I'(x', y')$ ：

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_0 & -\sin \theta_0 & x_0 - x_0 \cos \theta_0 + y_0 \sin \theta_0 \\ \sin \theta_0 & \cos \theta_0 & y_0 - x_0 \sin \theta_0 - y_0 \cos \theta_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中 (x', y') 为矫正叶片图像中与叶片图像中 (x, y) 像素对应的像素；

(2) 利用双边滤波器平滑叶片图像：

$$g(x, y) = \frac{\sum_{(x', y') \in D} f(x', y') w(x, y, x', y')}{\sum_{(x', y') \in D} w(x, y, x', y')} \quad (5)$$

其中， $g(x, y)$ 为平滑处理后的图像在坐标 (x, y) 处的灰度值， D 为 (x, y) 的邻域窗口， $f(x', y')$ 为窗口内的像素值，权重系数 $w(x', y', k, l)$ 为定义域核 $d(x, y, x', y')$ 和值域核 $r(x, y, x', y')$ 的乘积， σ_d, σ_r 分别为 d, r 中高斯函数的标准差：

$$\begin{aligned} w(x, y, x', y') &= d(x, y, x', y') \times r(x, y, x', y') \\ &= \exp \left(-\frac{(x - x')^2 + (y - y')^2}{2\sigma_d^2} - \frac{\|f(x, y) - f(x', y')\|^2}{2\sigma_r^2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

(3) 提取主叶脉：将平滑矫正后的叶片图像进行 Canny 算子边缘检测，得到检测结果图像，将检测结果图像划分为宽度 $w(w \geq 1)$ 的区域作为待增强区域，依次扫描断裂行，所述断裂行为存在断裂点的行，相邻的断裂行组成断裂区域，对各断裂区域进行迭代检测，将断裂区域划分为各下限级别子断裂区域，直至达到停止条件为止，当断裂区域中边缘像素点百分比高于预设阈值时，提高 Canny 算子边缘检测的上限阈值和下限阈值，当断裂区域中边缘像素点百分比低于预设阈值时，降低 Canny 算子边缘检测的上限阈值和下限阈值，所述停止条件为消除了各级别子断裂，或断裂区域中连续 N 次迭代处理中边缘像素点数

目不变, N 为整数, 或孤立边缘像素点数目增加;

(4) 连接断裂区域中的边缘像素: 手动处理, 连接断裂区域中的边缘像素, 使主叶脉连通, 得到主次叶脉图像;

(5) 利用双向区域增长法去除噪声并提取叶脉: 去除主次叶脉图像的外轮廓后, 分别选取主叶脉的上顶点和下顶点进行区域增长, 将两个结果图进行与操作之后, 再进行膨胀操作, 再将膨胀操作结果与主次叶脉图做与操作, 获得主叶脉图像;

(6) 提取次叶脉图像: 将主次叶脉图像减去主叶脉图像, 得到次叶脉图像, 检测次叶脉图像中各连通域即可得到各次叶脉的相应坐标。

所述的基于窗口动态阈值改进 Canny 算子的叶脉提取算法, 所述叶片图像中包括 2 片或 2 片以上树叶, 还包括分割叶片和重排叶脉的步骤;

所述分割叶片步骤首先通过阈值化和形态学操作得到 1 个以上的白色连通域, 连通域的外轮廓长大于等于预设阈值的连通域为各叶片所占区域; 再通过 K-means 聚类获得各叶片分区域, 逐行按叶片分区域的最小纵坐标排序;

所述分重排叶脉步骤将提取到的各叶片的叶脉按原序拼接。

如图 2 所示, 以一组叶片的扫描图像作为输入的叶片图像, 然而由于算法的处理是针对单张树叶图像的, 因此需要将这十张叶片图像规整地提取出来后单独进行叶脉提取, 再将处理完的效果图按原序拼接, 又因为摆正的叶片图像有利于之后的提取, 因此将叶片图像进行方向矫正, 最终的提取效果图按原序拼接结果如图 2 所示。

因为叶片组中叶片的分布是层次不齐, 且为 2 行, 所以在这里使用 K-means 聚类, 以每个叶片连通域的左上顶点的纵坐标或使用连通域的质心为依据, 将所有的叶片聚为两类, 通过 2 个聚类中心的纵坐标的比较, 可知树叶的上下分布; 再通过各叶片连通域左上顶点的横坐标将其进行行内排序, 最终得知叶片连通域的顺序。

接着针对提取出的单张叶片, 使用 Radon 变换进行方向矫正, 得到矫正后的叶片图像。

在使用 Canny 算子进行提取边缘提取中, 往往在用差分算子进行相关操作前, 为了防止边缘的断裂程度太大, 需要对图像进行平滑操作。

在传统的 Canny 算子提取边缘的过程中, 使用高斯滤波器对图像进行平滑

处理。然而由于高斯滤波并未考虑边缘因素，使用高斯滤波器进行平滑操作一方面会抹去一些原本存在的边缘，使得边缘数量减少，另一方面会使得提取的边缘连通性降低，即断裂程度变高，这都是不利于边缘提取的因素。

本发明使用双边滤波器代替原先的高斯滤波器，在既有效地进行平滑的前提下，保护边缘不因平滑操作而丢失，能够增加找到的边缘数量、提高边缘尤其是长边缘的连通性。

边缘提取后，一条叶脉中会有断裂的区域，以一条主叶脉为例，如图 4 所示，此时提取出的主叶脉因断裂分为三个连通域，不仅无法得到完整的主叶脉，而且很难将叶脉的碎边缘和噪声区分开。降低 Canny 算子的阈值或许可以将断裂区补全，但同时也会使得全局都引入极大的额外的噪声。再从下顶点开始，进行传统的四方向的区域增长，即可获得去除了噪声边缘的主次叶脉图像。

之后选取上顶点和下顶点，从上顶点开始进行“下左右”三种生长方向的区域增长法，从下顶点开始进行“上左右”三种生长方向的区域增长法，将两种结果进行与操作，即可得到能够极佳地保留叶脉分叉处细节的主叶脉图像。

最后，用主次叶脉图像减去主叶脉图像，即可得出次叶脉的图像，结果如图 5 所示。

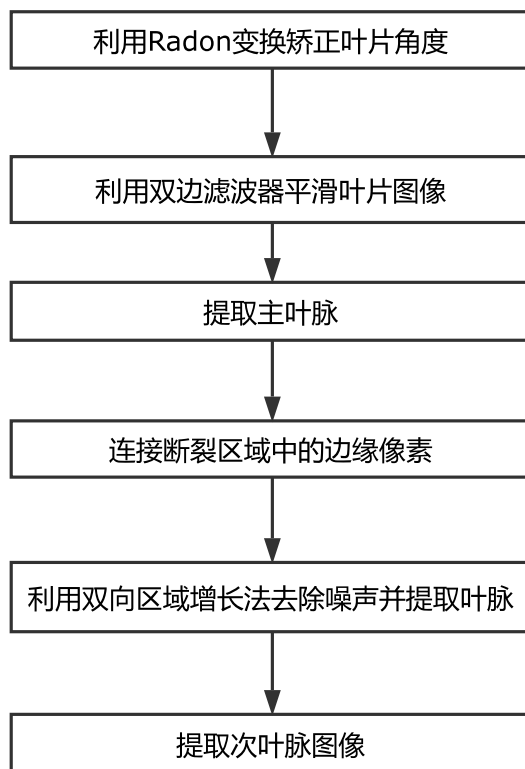


图 1

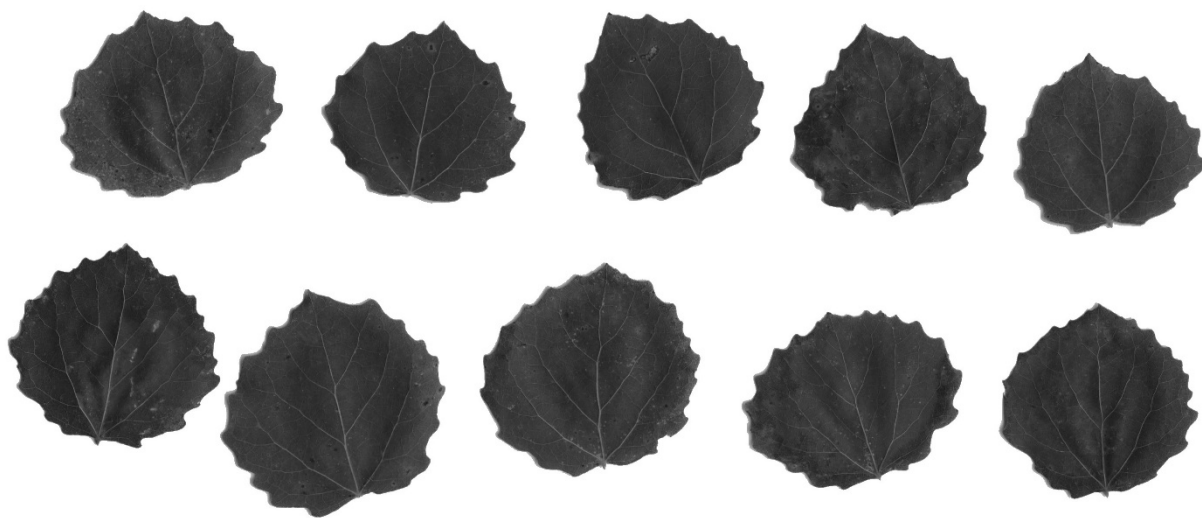


图 2

图 3

图 4



图 5