



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103591887 A

(43) 申请公布日 2014. 02. 19

(21) 申请号 201310456213. 0

(22) 申请日 2013. 09. 30

(71) 申请人 北京林业大学
地址 100083 北京市海淀区清华东路 35 号

(72) 发明人 田野 张俊梅 柯秋红 聂凤梅

(51) Int. Cl.
G01B 11/00(2006. 01)
G01N 21/84(2006. 01)

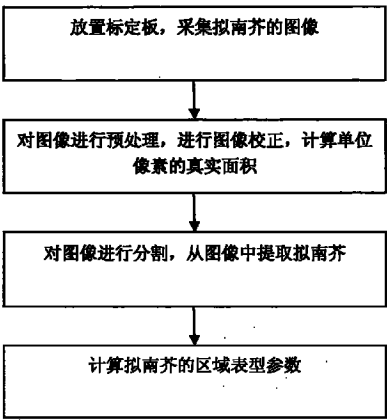
权利要求书2页 说明书11页 附图3页

(54) 发明名称

一种拟南芥区域表型的检测方法

(57) 摘要

一种拟南芥区域表型的检测方法,该方法具体包括:在拟南芥的种植盆中,放置标定板,利用相机采集拟南芥的 RGB 图像;对采集后的图像进行预处理,实现图像的自动校正和标定,其中图像校正为了校正图像的畸变,图像标定是为了获得单位像素的真实尺寸;对预处理后的图像进行分割,将拟南芥与背景分割,从图像中提取出来;提取拟南芥的区域表型参数,包括总面积、矩形度、圆度率、紧实性、周长凹凸比、偏心性以及对称性。表型参数总面积用来反映拟南芥的大小,表型参数矩形度、圆度率、紧实性、周长凹凸比、偏心性以及对称性用来反映拟南芥的区域形态。通过这些表型参数描述不同基因的拟南芥在大小和区域形态上面的差异,从而可以推断出不同基因的功能及对拟南芥植物的影响。



1. 一种拟南芥区域表型的检测方法,包括以下步骤:

S1. 在拟南芥的种植盆中,放置标定板,利用相机采集拟南芥的 RGB 图像;

S2. 对采集后的图像进行预处理,实现图像的自动校正和标定,其中图像校正就是为了校正图像的畸变,图像标定是为了获得单位像素的真实尺寸;

步骤 S2 包括定位黑白棋盘格、角点检测、图像校正和图像标定;

所述定位黑白棋盘格包括以下步骤:根据蓝色的 RGB 特征,提取蓝色边框;对图像的内部进行孔洞填充,再减去原来的蓝色边框图像,得到新图像;对新图像进行开运算,去除噪点;再进行闭运算,连接断点,得到黑白棋盘格的区域;

所述角点检测包括以下步骤:计算黑白棋盘格区域中的每一个点的水平方向和垂直方向上的一阶导数,得到三幅新图像:水平一阶导数的平方,垂直一阶导数的平方和两个一阶导数的乘积;用高斯滤波对三幅图像进行滤波,去除噪声;由上述三幅图像组成相关矩阵,计算准则函数,判断其中的像素点是否为角点;

所述图像校正和图像标定包括以下步骤:通过角点检测得到棋盘格的每个正方形的顶点在图像中坐标,并根据其在真实世界中的空间位置关系,得到二者的变换矩阵;求取变换矩阵的逆,作用于图像,实现图像校正;通过角点坐标得到黑白棋盘格的总像素个数,并根据它的真实尺寸,得到单位像素的真实尺寸;

S3. 对预处理后的图像进行分割,将拟南芥与背景分割,从图像中提取出来;

步骤 S3 包括图像初分割和去除噪点;

所述图像初分割包括以下步骤:对每个像素的 RGB 值进行归一化获得 rgb,提取 $3g-2.4r-b$ 的色差图,用 0 作为阈值对图像进行二值化;将结果减去原来检测出的蓝色边框区域,判断所获前景区域像素的 G 的灰度值是否大于 50,若是,则保留,否则去除;提取前景连通区域中的具有最多像素的区域,即为植物区域;

所述去除噪点包括以下步骤:对所得图像进行开运算,得到新的图像,其将只保留大叶片区域和植物的中心区域,而去除图像中的细节部分,包括植物的茎和叶片周围的噪点;对去除的细节部分的各个连通区域计算其像素个数,像素个数小于 12 的直接去除,像素个数大于等于 12 的连通区域,分别单独与开运算得到的新图像叠加,再计算叠加后图像中的区域个数,如果区域个数减少,说明该连通区域是茎,必须保留,否则,如果叠加后图像中的区域个数增加或者不变,则说明该连通区域是叶片周围的噪点,必须去除;判断完所有的细节部分后,将保留的所有连通区域全部与开运算得到的新图像叠加,得到最终的植物区域;

S4. 提取拟南芥的区域表型参数,包括总面积、矩形度、圆度率、紧实性、周长凹凸比、偏心性以及对称性;其中步骤 S4 包括如下步骤:

S4.1 将植物的像素个数与图像标定步骤得到的单位像素的真实面积相乘,得到植物的真实总面积;

S4.2 用植物的面积与包含植物的最小矩形的面积相除,获得植物区域的矩形度;

S4.3 用植物的面积与和植物具有相同周长的圆的面积相除,获得植物区域的圆度率;

S4.4 用植物的面积与包含植物的最小凸多边形的面积相除,获得植物区域的紧实性;

S4.5 用植物的周长与包含植物的最小凸多边形的周长相除,获得植物区域的周长凹凸比;

S4.6 用与植物区域具有相同二阶矩的椭圆的焦距与该椭圆的主轴相除,获得植物区域

的偏心性；

S4.7 将植物区域沿着其两个主轴分别进行翻转，计算翻转后的图像与原图重叠的植物区域的像素个数，并将这两个重叠的像素个数分别与植物区域的总像素个数相比，得到两个方向的对称性。

2. 根据权利要求 1 所述的拟南芥区域表型的检测方法，其中所述标定板采用蓝框黑白棋盘格，由 3×3 个边长为 4mm 的正方形组成。

一种拟南芥区域表型的检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种拟南芥区域表型的检测方法,利用相机采集拟南芥的图片,应用图像处理方法从图像中提取拟南芥的区域表型参数,实现拟南芥生长过程的无损检测。

背景技术

[0002] 拟南芥是植物学、基因学、遗传学中的一种重要的模式植物。对拟南芥表型的研究,可以全面、彻底地阐明拟南芥的生理功能,特别是其表型与其基因之间的相互关系,以及不同的环境条件对它生长的影响。植物表型特征的检测方法包括破坏性测量、接触性测量和计算机视觉检测方法。破坏性测量即针对一批植株,随机地抽取一定数量,用破坏性的方法测量其参数。接触性测量即采用接触式传感器测量植物的参数。采用计算机视觉技术进行测量即通过相关设备,包括 CCD 摄像头、光源等,获得被测对象的光谱图像,利用相关的软件、算法对图像进行处理,获得所需的数据,从而得到植物的表型参数。现有的研究工作主要是利用计算机视觉技术实现对单个叶片的分析或者其它作物的分析。李新国等利用扫描仪获取油菜叶片的图像,并利用 Photoshop 软件获得叶片像素数,通过分辨率得到叶片的面积(李新国,蔡胜忠,李绍鹏等.应用数字图像技术测定油梨叶面积[J].热带农业科学,2009,29(2):10-13.)。韩殿元等针对白色背景下的叶片提出一种利用颜色进行分割的算法,进而利用背景中的参考矩形板计算叶片的面积(韩殿元,黄心渊,付慧等.基于彩色通道相似性图像分割方法的植物叶面积计算[J].农业工程学报,2012,28(6):179-183.)。李少昆等利用图像技术对玉米和小麦进行图像采集,并提取相关参数(李少昆,张弦.作物株型信息多媒体图像处理技术的研究[J].作物学报,1998,24(3):265-271)。李长缨等利用计算机视觉技术对温室植物生长进行无损监测,获取植物的外部形态特征,包括叶冠投影面积和株高(李长缨,滕光辉,赵春江等.利用计算机视觉技术实现对温室植物生长的无损监测[J].农业工程学报,2003,19(3):140-143.)。

[0003] 综上所述,现有的研究存在以下缺陷:

[0004] 1、采用破坏性的测量方法会对植物造成损伤,而且不能对植物的生长进行连续性测量。

[0005] 2、采用传感器测量,直接与植物进行接触,会对植物的生长产生一定的影响,而且其成本高,开发难度也相对较大。

[0006] 3、现有的计算机视觉技术主要集中在单个叶片或者其它作物的表型检测,而对拟南芥的表型检测主要依靠人工实现,工作量大、效率不高。

[0007] 目前围绕拟南芥表型的计算机视觉检测研究,在国内外鲜有文献报道。

发明内容

[0008] 本发明要解决的技术问题是:如何针对拟南芥的特点,利用计算机视觉技术对拟南芥进行无损检测,提取其生长过程中的区域表型参数,包括总面积、矩形度、圆度率、紧实性、周长凹凸比、偏心性以及对称性。总面积用来反映拟南芥的大小,矩形度、圆度率、紧实

性、周长凹凸比、偏心性以及对称性用来反映拟南芥的区域形态。这些表型参数既可以定量地描述拟南芥的生长情况,也可以用于拟南芥基因功能的研究,即通过这些表型参数描述不同基因的拟南芥在大小和区域形态上面的差异,从而可以推断出不同基因的功能及对拟南芥植物的影响。

[0009] (一) 技术方案

[0010] 为了实现上述目的,本发明提供了基于计算机视觉的拟南芥区域表型检测方法,包括以下步骤:

[0011] S1. 在拟南芥的种植盆中,放置标定板,利用相机采集拟南芥的 RGB 图像;

[0012] S2. 对采集后的图像进行预处理,实现图像的自动校正和标定,其中图像校正是为了校正图像的畸变,图像标定是为了获得单位像素的真实尺寸;

[0013] S3. 对预处理后的图像进行分割,将拟南芥与背景分割,从图像中提取出来;

[0014] S4. 提取拟南芥的区域表型参数,包括总面积、矩形体、圆度率、紧实性、周长凹凸比、偏心性以及对称性。

[0015] 采集图像中的标定板采用的是蓝框黑白棋盘格,由 3×3 个边长为 4mm 的正方形组成。将标定板放在拟南芥植株一侧,与其一起进行图像采集。

[0016] 步骤 S2 具体包括如下步骤:

[0017] S2.1 定位黑白棋盘格

[0018] S2.1.1 根据蓝色的 RGB 特征,提取蓝色边框;

[0019] S2.1.2 对图像的内部进行孔洞填充,再减去原来的蓝色边框图像,得到新图像;

[0020] S2.1.3 对新图像进行开运算,去除噪点;再进行闭运算,连接断点,得到黑白棋盘格的区域;

[0021] S2.2 角点检测

[0022] S.2.2.1 计算黑白棋盘格区域中的每一个点的水平方向和垂直方向上的一阶导数,得到三幅新图像:水平一阶导数的平方,垂直一阶导数的平方和两个一阶导数的乘积;

[0023] S.2.2.2 用高斯滤波对三幅图像进行滤波,去除噪声;

[0024] S.2.2.3 由上述三幅图像组成相关矩阵,计算准则函数,判断其中的像素点是否为角点;

[0025] S2.3 图像校正和图像标定

[0026] S.2.3.1 通过角点检测得到棋盘格的每个正方形的顶点在图像中坐标,并根据其在真实世界中的空间位置关系,得到二者的变换矩阵;

[0027] S.2.3.2 求取变换矩阵的逆,作用于图像,实现图像校正;

[0028] S2.3.3 通过角点坐标得到黑白棋盘格的总像素个数,并根据它的真实尺寸,得到单位像素的真实尺寸;

[0029] 步骤 S3 具体包括如下步骤:

[0030] S3.1 图像初分割

[0031] S3.1.1 对每个像素的 RGB 值进行归一化获得 rgb,提取 $3g-2.4r-b$ 的色差图,用 0 作为阈值对图像进行二值化;

[0032] S3.1.2 将结果减去原来检测出的蓝色边框区域,判断所获前景区域像素的 G 的灰度值是否大于 50,若是,则保留,否则去除;

[0033] S3.1.3 提取前景连通区域中的具有最多像素的区域,即为植物区域;

[0034] S3.2 去除噪点

[0035] S3.2.1 对所得图像进行开运算,得到新的图像,其将只保留大叶片区域和植物的中心区域,而去除图像中的细节部分,包括植物的茎和叶片周围的噪点;

[0036] S3.2.2 对去除的细节部分的各个连通区域计算其像素个数,像素个数小于 12 的直接去除;

[0037] S3.2.3 像素个数大于等于 12 的连通区域,分别单独与开运算得到的新图像叠加,再计算叠加后图像中的区域个数,如果区域个数减少,说明该连通区域是茎,必须保留,否则,如果叠加后图像中的区域个数增加或者不变,则说明该连通区域是叶片周围的噪点,必须去除;

[0038] S3.2.4 判断完所有的细节部分后,将保留的所有连通区域全部与开运算得到的新图像叠加,得到最终的植物区域;

[0039] 步骤 S4 具体包括如下步骤:

[0040] S4.1 将植物的像素个数与图像标定步骤得到的单位像素的真实面积相乘,得到植物的真实总面积;

[0041] S4.2 用植物的面积与包含植物的最小矩形的面积相除,获得植物区域的矩形度;

[0042] S4.3 用植物的面积与和植物具有相同周长的圆的面积相除,获得植物区域的圆度率;

[0043] S4.4 用植物的面积与包含植物的最小凸多边形的面积相除,获得植物区域的紧实性;

[0044] S4.5 用植物的周长与包含植物的最小凸多边形的周长相除,获得植物区域的周长凹凸比;

[0045] S4.6 用和植物区域具有相同二阶矩的椭圆的焦距与该椭圆的主轴相除,获得植物区域的偏心性;

[0046] S4.7 将植物区域沿着其两个主轴分别进行翻转,计算翻转后的图像与原图重叠的植物区域的像素个数,并将这两个重叠的像素个数分别与植物区域的总像素个数相除,得到两个方向的对称性。

[0047] (二) 有益结果

[0048] 本发明方法利用计算机视觉技术采集拟南芥的图像,利用图像处理技术实现了拟南芥表型的无损检测。通过检测蓝框黑白棋盘格的蓝色边框,并用角点检测算法检测内部的角点,最终实现了图像的自动校正和标定。对拟南芥采用归一化的 rgb 值线性组合进行阈值分割,并通过再次判断植物区域的细节,去除不必要的噪点,从而实现了在不影响拟南芥正常生长的情况下,将拟南芥从复杂的自然生长环境中分割出来。分割出植物后,再提取出拟南芥的区域表型参数。相对于传统人工观察和测量,该方法在效率上有了较大的提高。

附图说明

[0049] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

- [0050] 图 1 为依照本发明一个实施例的拟南芥区域表型检测方法的流程图；
- [0051] 图 2 为本发明提供的方法中所使用的用于采集图像的采集转置；
- [0052] 图 3 为本发明提供的预处理方法处理过程中生成的图像，其中，子图 (1) 为依照本发明方法采集的拟南芥的 RGB 图像，(2) 为经过预处理后生成的黑白棋盘格区域，(3) 为经过预处理后生成的角点检测图像，(4) 为经过预处理后生成的校正后的图像；
- [0053] 图 4 为本发明提供的图像分割方法处理过程中生成的图像，其中，子图 (1) 为经过图像初分割步骤后生成的二值图像，(2) 为经过噪点去除步骤后生成的最终的拟南芥的图像；
- [0054] 图 5 为本发明提供的拟南芥的区域表型提取方法处理过程中生成的图像，其中，子图 (1) 为包含植物区域的最小矩形，(2) 为包含植物区域的最小凸多边形，(3) 为与该植物区域具有相同二阶矩的椭圆。

具体实施方式

[0055] 本发明提出的一种拟南芥区域表型的检测方法，结合附图和实施例详细说明如下。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明，但不以任何形式限制本发明。应当指出的是，对本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改变。这些都属于本发明的保护范围。

[0056] 为快速提取拟南芥的区域表型参数，本发明提出了一种拟南芥区域表型的检测方法。该方法对采集的图像进行预处理之后，从复杂的背景环境中分割出拟南芥，在此基础上对拟南芥的区域表型参数进行提取，提高了拟南芥的表型参数获取效率。

[0057] 如图 1 所示，依照本发明一个实施例的拟南芥区域表型检测方法包括步骤：

[0058] S1 在拟南芥的种植盆中，放置标定板，利用 CCD 相机采集拟南芥的 RGB 图像；

[0059] 在本实例中，可以采用图 2 的采集装置进行图像的采集。该采集装置包括：CCD 相机 1、支架 2、照明装置 3 和拟南芥 4，标定板 5 放在拟南芥的一侧。标定板采用的是蓝框黑白棋盘格，由 3×3 个边长为 4mm 的正方形组成。

[0060] S2 对采集后的图像进行预处理，具体包括如下子步骤：

[0061] S2.1 定位黑白棋盘格

[0062] S2.1.1 根据蓝色的 RGB 特征，R 和 G 的灰度值都小于 B，且 B 的灰度值大于 150，从图像中分割出蓝色边框。

[0063] S2.1.2 对图像的内部进行孔洞填充，其结果减去原来的蓝色边框图像，得到新图像。

[0064] S2.1.3 对新图像进行开运算，去除噪点；再进行闭运算，连接断点，得到黑白棋盘格的区域。

[0065] S2.2 角点检测

[0066] S.2.2.1 计算黑白棋盘格区域中的每一个点的水平方向和垂直方向上的一阶导数。采用如下 Prewitt 模板进行计算，即用 3×3 区域的第三列和第一列之差近似为水平方向的导数，用第三行和第一行之差近似为垂直方向的导数。用这两个子模板和图像卷积，得到两个与图像大小相同的矩阵，记为 I_x , I_y ，进而计算三幅新图像： I_x^2 , I_y^2 和 $I_x I_y$ 。

[0067]

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

[0068] Prewitt 模板

[0069] S. 2. 2. 2 考虑到图像会受到噪声的干扰,采用 101×101 的高斯窗口对三幅图像进行滤波,去除噪声。

[0070] S. 2. 2. 3 由三幅新图像组成相关矩阵 M :

[0071]
$$M = \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

[0072] 利用该矩阵计算准则函数 R :

[0073]
$$R = \det(M) - k \cdot (\text{trace}(M))^2$$

[0074] 其中 k 一般取 0.04。

[0075] 对于每个像素点,都可以得到一个 R 值,若某个点的 R 值大于 $0.01R_{\max}$,且其为 3×3 邻域的局部最大值,则其将被判断为角点。

[0076] S2. 3 图像校正和图像标定

[0077] S. 2. 3. 1 通过角点检测得到棋盘格的每个正方形的顶点在图像中坐标,在真实世界中,这些顶点组成每一个正方形,根据其空间位置关系,可设置这些顶点的坐标。令其中某个点在图像中的坐标为 $(x', y')^T$,在空间中的坐标为 $(x, y)^T$,其齐次坐标分别为 $(x_1', x_2', x_3')^T$ 和 $(x_1, y, 1)^T$,二者之间存在射影失真变换,变换矩阵是关于齐次三维坐标的线性变换 H ,如下表示 :

[0078]
$$\begin{bmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ x'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0079] 因为图像的非齐次坐标可由齐次坐标表示为 :

[0080]
$$x' = \frac{x'_1}{x'_3} = \frac{h_{11}x + h_{12}y + h_{13}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}}$$

[0081]
$$y' = \frac{x'_2}{x'_3} = \frac{h_{21}x + h_{22}y + h_{23}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}}$$

[0082] 所以每一组匹配点可得到两个如下方程 :

[0083]
$$(h_{31}x + h_{32}y + h_{33})x' = h_{11}x + h_{12}y + h_{13}$$

[0084]
$$(h_{31}x + h_{32}y + h_{33})y' = h_{21}x + h_{22}y + h_{23}$$

[0085] 用至少四对匹配点即可求出变换矩阵 H 。

[0086] S. 2. 3. 2 求取变换矩阵 H 的逆,再作用于图像,实现图像的校正。

[0087] S2. 3. 3 通过角点坐标计算黑白棋盘格区域内的总像素个数 N_b ,并根据它的真实尺寸,即 $9 \times (4\text{mm})^2 = 144\text{mm}^2$,得到单位像素的真实尺寸,即 :

[0088]
$$A_{\text{ax}} = \frac{144}{N_b}$$

[0089] S3 对预处理后的图像进行分割,将拟南芥从图像中提取出来,具体包括如下子步骤:

[0090] S3.1 图像初分割

[0091] S3.1.1 对每个像素的 RGB 值进行归一化获得 rgb,方法如下:

$$[0092] \begin{cases} r = \frac{R}{R+G+B} \\ g = \frac{G}{R+G+B} \\ b = \frac{B}{R+G+B} \end{cases}$$

[0093] 提取 $3g-2.4r-b$ 的色差图,用 0 作为阈值对图像进行二值化,即:若

[0094] $I=3g-2.4r-b \geq 0$

[0095] 则将该像素判断为前景植物的像素,否则为背景像素。

[0096] S3.1.2 将结果减去原来检测出的蓝色边框区域。判断所获前景区域的像素的 G 的灰度值是否大于 50,若是,则保留该像素,否则将该像素判断为背景像素,从区域中去除。

[0097] S3.1.3 提取前景连通区域中的具有最多像素的区域,即为植物区域。

[0098] S3.2 去除噪点

[0099] S3.2.1 对所得图像用 7×7 的 disk 模板进行开运算,得到新的图像,其将只保留大叶片区域和植物的中心区域,而去除图像中的细节部分,包括植物的茎和叶片周围的噪点。

[0100] S3.2.2 对去除的细节部分的各个连通区域计算其像素个数,像素个数小于 12 的直接去除。

[0101] S3.2.3 像素个数大于等于 12 的连通区域,分别单独与开运算得到的新图像叠加,再计算叠加后图像中的区域个数,如果区域个数减少,说明该连通区域是茎,必须保留,否则,如果叠加后图像中的区域个数增加或者不变,则说明该连通区域是叶片周围的噪点,必须去除。

[0102] S3.2.4 判断完所有的细节部分后,将保留的所有连通区域全部与开运算得到的新图像叠加,得到最终的植物区域。

[0103] S4 提取拟南芥的区域表型参数,包括总面积、矩形度、圆度率、紧实性、周长凹凸比、偏心性以及对称性,具体包括如下子步骤:

[0104] S4.1 总面积

[0105] S4.1.1 通过图像分割步骤,得到植物区域的像素点的个数 N_p 。

[0106] S4.1.2 将像素个数与图像标定步骤得到的单位像素的真实面积 A_{dz} 相乘,得到植物区域的真实总面积 A_z ,即:

[0107] $A_z = A_{dz} N_p$

[0108] S4.2 矩形度

[0109] S4.2.1 计算包含区域的最小矩形的像素个数 N_r 。

[0110] S4.2.2 用植物区域的像素个数 N_p 与该矩形的像素个数 N_r 相除,获得植物区域的矩形度 R,即:

$$[0111] \quad R = \frac{N_p}{N_r}$$

[0112] S4.3 圆度率

[0113] S4.3.1 计算植物区域的周长像素 N_{pp} , 与该植物区域具有相同周长的圆的像素个数为 N_c 。

[0114] S4.3.2 用植物区域的像素个数 N_p 与该圆的像素个数 N_c 相除, 获得植物的圆度率 C , 即:

$$[0115] \quad C = \frac{N_p}{N_c} = \frac{4\pi N_p}{(N_{pp})^2}$$

[0116] S4.4 紧实性

[0117] S4.4.1 计算包含区域的最小凸多边形的像素个数 N_v 。

[0118] S4.4.2 用植物区域的像素个数 N_p 与该凸多边形的像素个数 N_v 相除, 获得植物的紧实性 S , 即:

$$[0119] \quad S = \frac{N_p}{N_v}$$

[0120] S4.5 周长凹凸比

[0121] S4.5.1 计算植物区域的周长像素 N_{pp} 和包含区域的最小凸多边形的周长像素 N_{vp} 。

[0122] S4.5.2 用植物区域的周长像素 N_{pp} 与该凸多边形的周长像素 N_{vp} 相除, 获得植物的周长凹凸比 V , 即:

$$[0123] \quad V = \frac{N_{pp}}{N_{vp}}$$

[0124] S4.6 偏心性

[0125] S4.6.1 计算与植物区域具有相同二阶矩的椭圆。

[0126] S4.6.2 用椭圆的焦距的像素个数 N_f 与该椭圆的主轴的像素个数 N_l 相除, 获得植物区域的偏心性 E , 即:

$$[0127] \quad E = \frac{N_f}{N_l}$$

[0128] S4.7 对称性

[0129] S4.7.1 提取植物区域的横坐标和纵坐标, 通过计算其各自的方差和协方差, 得到其协方差矩阵。

$$[0130] \quad M = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} \end{bmatrix}$$

[0131] 计算该协方差矩阵的特征向量, 得到植物区域的两个主轴方向。

[0132] S4.7.2 将植物区域沿着这两个主轴分别进行翻转, 将翻转得到的两个图像与原图像进行叠加, 计算重叠的植物区域的像素个数 N_1 、 N_2 。

[0133] S4.7.3 将两个重叠的像素个数 N_1 、 N_2 分别与植物区域的总像素个数 N_p 相除, 得到两个方向的对称性 S_{y1} 、 S_{y2} 。

$$[0134] \quad Sy_1 = \frac{N_1}{N_p}$$

$$[0135] \quad Sy_2 = \frac{N_2}{N_p}$$

[0136] 以下结合实施例子进一步说明本发明的方法,该方法包括以下步骤:

[0137] S1 在拟南芥的种植盆中,放置标定板,利用相机采集拟南芥的 RGB 图像。标定板采用的是蓝框黑白棋盘格,由 3×3 个边长为 4mm 的正方形组成。将其放在拟南芥一侧,与其一起进行图像采集,采集的图片如图 3(1) 所示。

[0138] S2 对采集后的图像进行预处理,实现图像的自动校正和标定。

[0139] S2.1 定位黑白棋盘格

[0140] S2.1.1 根据蓝色的 RGB 特征,R 和 G 的灰度值都小于 B,且 B 的灰度值大于 150,从图像中分割出蓝色边框。

[0141] S2.1.2 对图像的内部进行孔洞填充,其结果减去原来的蓝色边框图像,得到新图像。

[0142] S2.1.3 对新图像进行开运算,去除噪点;再进行闭运算,连接断点,得到黑白棋盘格的区域,如图 3(2) 所示。

[0143] S2.2 角点检测

[0144] S.2.2.1 用 Prewitt 模板和图像卷积,计算黑白棋盘格区域中的每一个点的水平方向和垂直方向上的一阶导数,得到三幅新图像:水平一阶导数的平方,垂直一阶导数的平方和两个一阶导数的乘积。

[0145] S.2.2.2 采用 101×101 的高斯窗口对三幅图像进行滤波,去除噪声。

[0146] S.2.2.3 由上述三幅图像组成相关矩阵,计算准则函数,找出角点。如图 3(3) 所示,各个角点已用红点标出。

[0147] S2.3 图像校正和图像标定

[0148] S.2.3.1 通过角点检测得到棋盘格的 16 个正方形的顶点按照从左到右,从上到下的顺序在图像中坐标如下:

[0149] (163,370) (224,362) (286,354) (347,347)

[0150] (171,430) (233,423) (294,415) (356,407)

[0151] (179,491) (241,484) (302,476) (346,468)

[0152] (187,553) (249,545) (311,537) (372,529)

[0153] 根据其在真实世界中是严格的正方形,将各个点的坐标规定为:

[0154] (164,347) (225,347) (286,347) (347,347)

[0155] (164,408) (225,408) (286,408) (347,408)

[0156] (164,469) (225,469) (286,469) (347,469)

[0157] (164,530) (225,530) (286,530) (347,530)

[0158] 计算出这两组坐标的变换矩阵为:

$$[0159] \quad \begin{bmatrix} 0.9820 & 0.1202 & -1.2519e-05 \\ -0.1232 & 1.0126 & 3.8417e-05 \\ 51.0888 & -43.5533 & 0.9977 \end{bmatrix}$$

[0160] S. 2. 3. 2 该变换矩阵的逆为：

$$[0161] \begin{bmatrix} 1.0026 & -0.1183 & 0.0000 \\ 0.1237 & 0.9713 & 0.0000 \\ -45.9428 & 48.4665 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

[0162] 将其作用于图像,实现图像校正,恢复图像的度量特性,结果如图 3(4) 所示。

[0163] S2. 3. 3 通过角点坐标得到黑白棋盘格的总像素个数是 35721,并根据它的真实尺寸,即 $9 \times (4\text{mm})^2 = 144\text{mm}^2$,得到单位像素的真实尺寸,即：

$$[0164] A_{\text{dx}} = \frac{144}{35721}$$

[0165] S3 对预处理后的图像进行分割,将拟南芥从图像中提取出来,具体包括如下子步骤：

[0166] S3. 1 图像初分割

[0167] S3. 1. 1 对每个像素的 RGB 值进行归一化获得 rgb,提取 $3g-2.4r-b$ 的色差图,用 0 作为阈值对图像进行二值化。

[0168] S3. 1. 2 将结果减去原来检测出的蓝色边框区域。判断所获前景区域的像素的 G 的灰度值是否大于 50,若是,则保留该像素,否则将该像素判断为背景像素,从区域中去除。

[0169] S3. 1. 3 提取前景连通区域中的具有最多像素的区域,即为植物区域,结果如图 4(1) 所示。

[0170] S3. 2 去除噪点

[0171] S3. 2. 1 对所得图像用 7×7 的 disk 模板进行开运算,得到新的图像,其将只保留大叶片区域和植物的中心区域,而去除图像中的细节部分,包括植物的茎和叶片周围的噪点。

[0172] S3. 2. 2 对去除的细节部分的各个连通区域计算其像素个数,像素个数小于 12 的直接去除。

[0173] S3. 2. 3 像素个数大于等于 12 的连通区域,分别单独与开运算得到的新图像叠加,再计算叠加后图像中的区域个数,如果区域个数减少,说明该连通区域是茎,必须保留,否则,如果叠加后图像中的区域个数增加或者不变,则说明该连通区域是叶片周围的噪点,必须去除。

[0174] S3. 2. 4 判断完所有的细节部分后,将保留的所有连通区域全部与开运算得到的新图像叠加,得到最终的植物区域,结果如图 4(2) 所示。

[0175] S4 提取拟南芥的区域表型参数,包括总面积、矩形度、圆度率、紧实性、周长凹凸比、偏心性以及对称性,具体包括如下子步骤：

[0176] S4. 1 总面积

[0177] S4. 1. 1 通过图像分割步骤,得到植物区域的像素点的个数是 34258。

[0178] S4. 1. 2 将像素个数与图像校正步骤得到的单位像素的真实面积相乘,得到植物区域的真实总面积 A_z ,即：

$$[0179] A_z = \frac{144}{35721} \times 34258 = 138.1\text{mm}^2$$

[0180] S4. 2 矩形度

[0181] S4. 2. 1 包含区域的最小矩形框如图 5(1) 所示,该矩形框内的像素个数为 72836。

[0182] S4.2.2 用植物区域的像素个数 34258 与该矩形的像素个数 72836 相除, 获得植物区域的矩形度 R, 即:

$$[0183] \quad R = \frac{34258}{72836} = 0.47$$

[0184] S4.3 圆度率

[0185] S4.3.1 该植物区域的周长的像素个数 1388, 与其具有相同周长的圆的像素个数为 N_c 。

[0186] S4.3.2 用植物区域的像素个数 34258 与该圆的像素个数 N_c 相除, 获得植物的圆度率 C, 即:

$$[0187] \quad C = \frac{N_p}{N_c} = \frac{4\pi \times 34258}{(1388)^2} = 0.23$$

[0188] S4.4 紧实性

[0189] S4.2.1 包含植物区域的最小凸多边形框如图 5(2) 所示, 该凸多边形框内的像素个数为 48896。

[0190] S4.2.2 用植物区域的像素个数 34258 与该凸多边形的像素个数 48896 相除, 获得植物的紧实性 S, 即:

$$[0191] \quad S = \frac{34258}{48896} = 0.70$$

[0192] S4.5 周长凹凸比

[0193] S4.5.1 植物区域的周长的像素个数 1388, 包含区域的最小凸多边形的周长像素 733。

[0194] S4.5.2 用植物区域的周长像素 1388 与该凸多边形的周长像素 733 相除, 获得植物的周长凹凸比 V, 即:

$$[0195] \quad V = \frac{1388}{733} = 1.89$$

[0196] S4.6 偏心性

[0197] S4.6.1 与该植物区域具有相同二阶矩的椭圆如图 5(3) 所示。

[0198] S4.6.2 用椭圆的焦距的像素个数 300 与该椭圆的主轴的像素个数 274 相除, 获得植物区域的偏心性 E, 即:

$$[0199] \quad E = \frac{300}{274} = 1.09$$

[0200] S4.7 对称性

[0201] S4.7.1 提取植物区域的横坐标和纵坐标, 通过计算其各自的方差和协方差, 得到其协方差矩阵。

$$[0202] \quad M = \begin{bmatrix} 4632.3 & 257.8 \\ 257.8 & 3325.1 \end{bmatrix}$$

[0203] 计算得到该协方差矩阵的两个特征向量分别是:

$$[0204] \quad V_1 = \begin{bmatrix} 0.1867 \\ -0.9824 \end{bmatrix}$$

$$[0205] \quad V_2 = \begin{bmatrix} -0.9824 \\ -0.1867 \end{bmatrix}$$

[0206] 从而得到植物区域的两个主轴方向分别是：

$$[0207] \quad \theta_1 = \arctan\left(\frac{-0.9824}{0.1867}\right) = -79.23$$

$$[0208] \quad \theta_2 = \arctan\left(\frac{-0.1867}{-0.9824}\right) = 10.76$$

[0209] S4.7.2 将植物区域沿着这两个主轴分别进行翻转,将翻转得到的两个图像与原图像进行叠加,得到重叠的植物区域的像素个数分别是 23154 和 22308。

[0210] S4.7.3 将两个重叠的像素个数分别与植物区域的总像素个数相除,得到两个方向的对称性分别是：

$$[0211] \quad Sy_1 = \frac{23154}{34258} = 0.68$$

$$[0212] \quad Sy_2 = \frac{22308}{34258} = 0.65$$

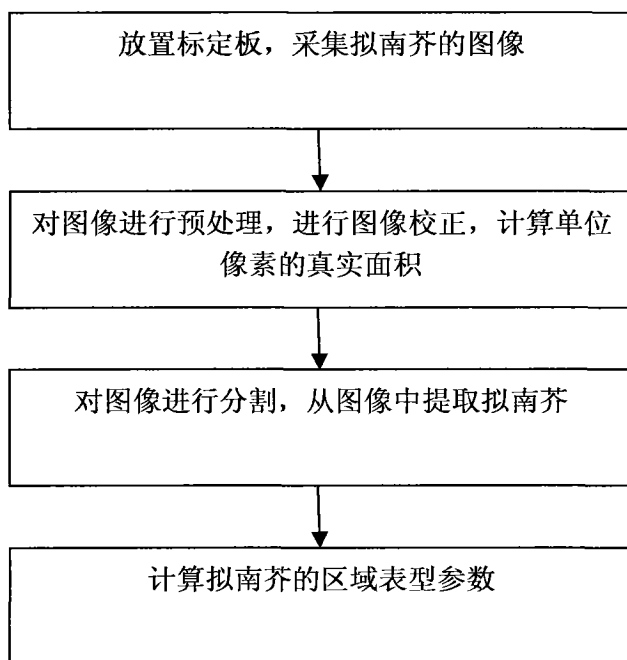


图 1

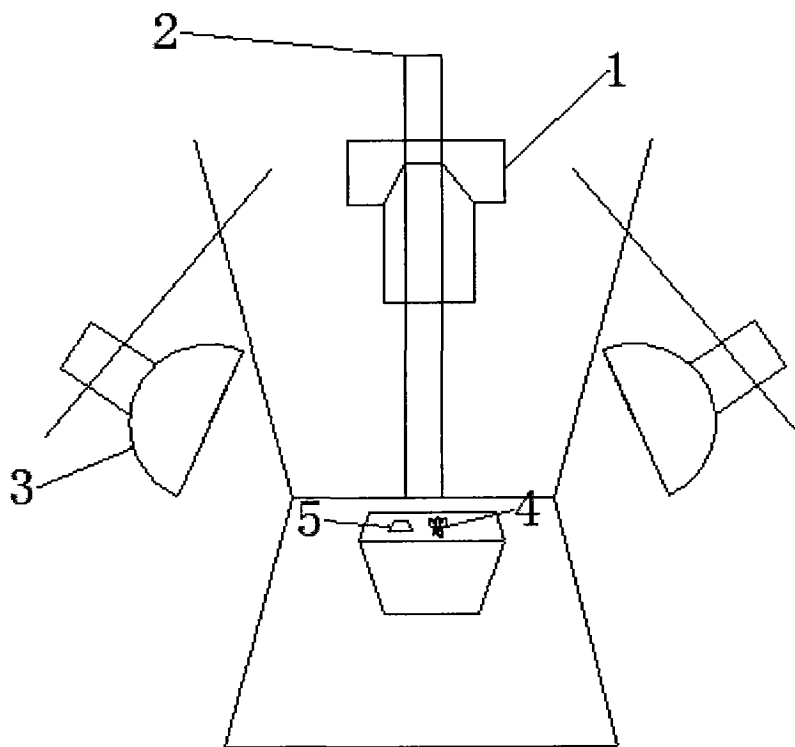
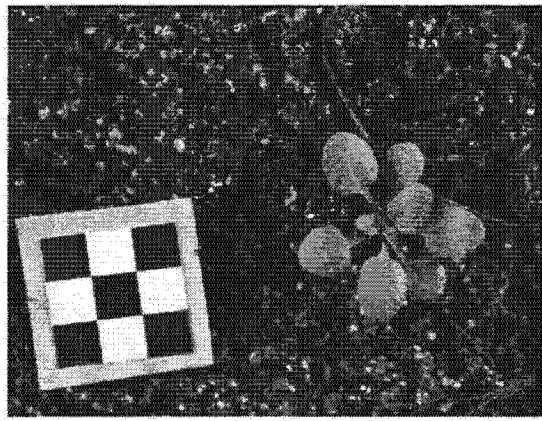
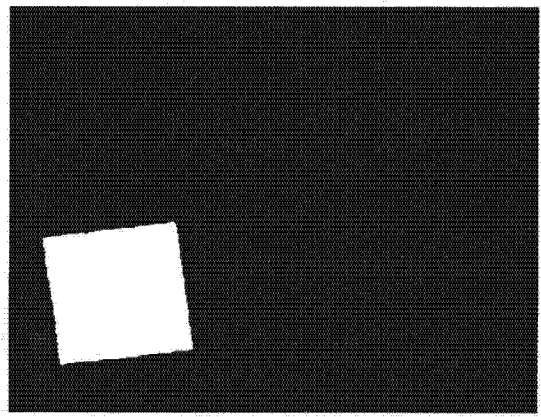


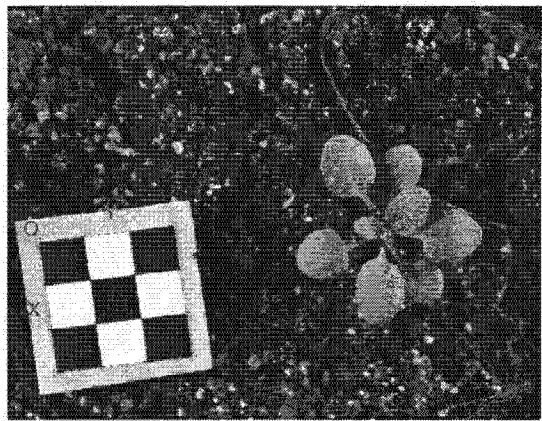
图 2



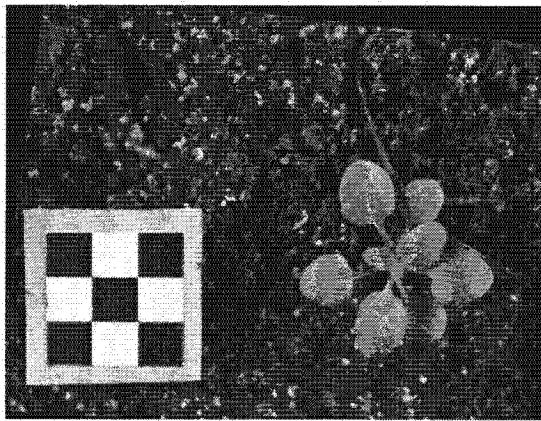
(1)



(2)

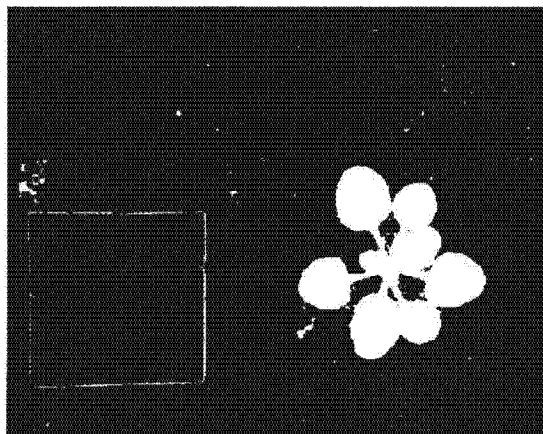


(3)

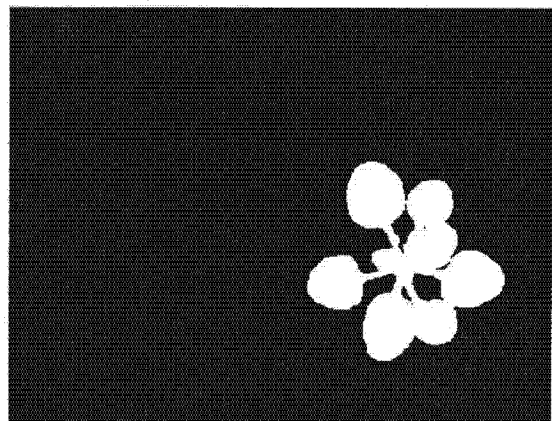


(4)

图 3

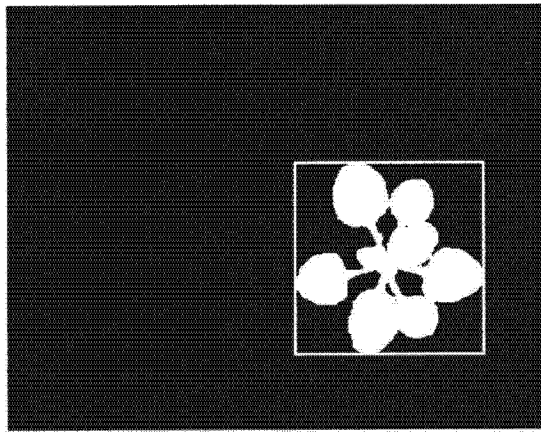


(1)

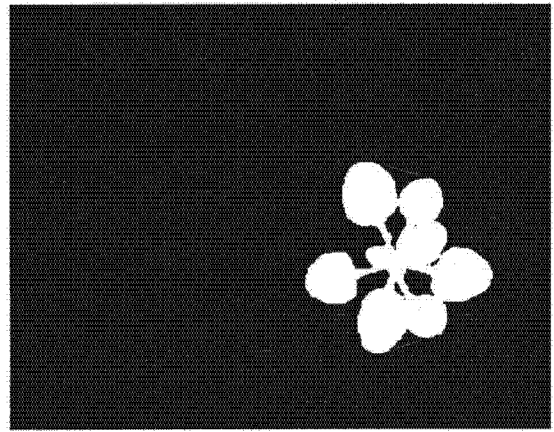


(2)

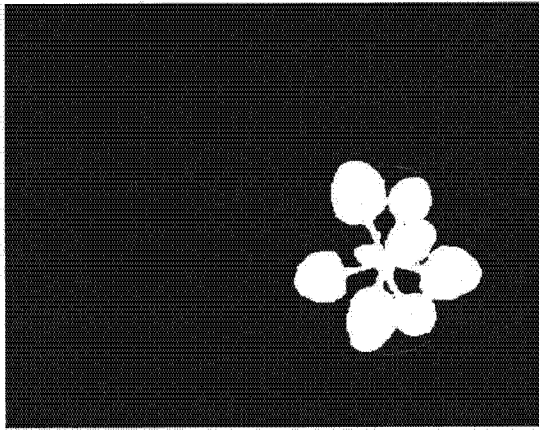
图 4



(1)



(2)



(3)

图 5