

农作物几何特征量测量系统设计与试验^{*}

孙诚达 邱 威 丁为民 顾家冰 赵三琴
(南京农业大学工学院, 南京 210031)

摘要: 为实现复杂背景下农作物几何特征量的实时测量,设计了交互式软件系统和便携式硬件结构。软件基于 Matlab 图像处理技术和多个作物几何特征量的计算模型,提出了动态交互式颜色特征提取方法和逐点颜色分量差值筛选法,实现了目标作物与背景的有效分离。研究了非旋转体作物体积与投影面积的关系,提出了测量这类作物的体积等特征量的新思路;建立了单位像素实际值与物距的对应关系,避免了需要在背景中设置参照从而计算单位像素代表作物几何特征量的实际值。软件渗透了人机交互和分类设计的思想,具有较好的交互性、通用性和扩展性。硬件采用高配的 PC 机核心部件、快速响应的工业触摸屏、自动定焦对焦工业相机和可控的相机支架、大容量锂电池。结构紧凑 (29.8 cm × 19.9 cm × 6 cm)、操作简便、便于手持式和分体式测量。系统经过精度测量和实时测试,能完成多种作物的几何特征量测量,一般测量误差 4% ~ 8%,自动处理时间平均 1.63 s(建好颜色特征库时),装置有较好的处理速度,有一定的实用价值。

关键词: 农作物几何特征量 便携式测量装置 分类式测量系统 人机交互式颜色特征提取 分量差值筛选法
中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)12-0001-10

Design and Experiment for Crops Geometrical Feature Measuring System

Sun Chengda Qiu Wei Ding Weimin Gu Jiabing Zhao Sanqin
(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: In order to measure the crop geometrical feature real-timely in the complex background, interactive software system and hardware system were designed. Based on the Matlab image process technology, crops geometrical feature calculation models and the idea of human-computer interaction and classification calculation, the software system were designed. The whole measuring process was divided into four steps, which were image acquisition, RGB color feature acquisition, crops region separation from the background and crops geometrical feature calculation. A human-computer interactive software interface was designed, which consisted of menu bar, operation button, image display window and measurement value display window, and it could control each measuring step. RGB color eigenvalues of different crops were obtained by using discrete sample point interactive selection method and region interactive selection method, then the crops region was separated from background efficiently by using screening method based on RGB color eigenvalue difference of each pixel. The software system built classified color database for some kinds of crops according to the environmental condition and crops feature, so pertinence and efficiency for extracting crops region were improved, and real-time measurement was realized. Image was rectified to enhance measurement precision. Corresponding relationships between the actual sizes represented by unit pixel and different object distances were determined previously in order to calculate the actual crops geometrical feature values in real time, so it was not needed to set reference object to calculate the actual size represented by unit pixel when the

收稿日期: 2015-08-28 修回日期: 2015-09-30
^{*} 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA101904-5)、江苏省自然科学基金资助项目(BK20130670)和江苏省产学研联合创新基金——前瞻性联合研究资助项目(BY2013050)
作者简介: 孙诚达, 博士生, 主要从事农业机械装备研究, E-mail: njased@163.com
通讯作者: 丁为民, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械装备研究, E-mail: wmding@njau.edu.cn

system was used. The software system built calculation models for several crops geometrical features, including volume, area, and length calculation models of revolving and non-revolving body. The crops volume and projective area regressive model was explored, which provided a new idea for calculating the volume of the crops with non-revolving feature. The objectives of classification design were to expand the measuring types of crops, make the calculation process convenient and enhance the calculation speed of the system. The hardware system consisted of high-performance PC core component, industrial touch screen with a rapid responding speed, industrial camera which had the function of automatic focusing in a fixed focal length and adjustable support. High-capacity lithium battery supplied power for the hardware system. The whole system was $29.8\text{ cm} \times 19.9\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ in size, and it was easy to manipulate the system, thus the system could be used as a portable device. For the purpose of installing the device on machine, the adjustable camera support was designed, which was made up of electric dividing plate, stepper motor and S7-200 PLC, and industrial camera shooting direction could be controlled by PLC. The measuring accuracy and real-time feature of system were verified, and the result showed that the measuring error was $4\% \sim 8\%$, and the average processing time was 1.63 s (without the time to construct the color feature database). The system could accomplish the measurement of crops geometrical feature with relatively high speed and calculating accuracy in real time. The system could be used in the field of crops geometrical feature measurement.

Key words: Crops geometrical feature Portable measurement device Classified measurement system
Human-computer interactive method for color feature extraction Screening method based on color feature difference

引言

作物几何特征量的测量,是许多作物自动化作业的基础,图像分割是图像法测量作物几何特征量的核心技术。国内外学者对此作了许多研究^[1-9],上述研究有效促进了计算机技术在农业领域的应用。但有些图像分割技术因受硬件速度的制约,通常是基于灰度图像进行处理的,从而丢失了许多作物的特征信息^[10];有些测量系统,在通用性、扩展性及高效性方面还有很大的研究空间;有些把某一时刻的作物图像特征当作该作物静态不变的图像特征来处理,丧失了特征量的实时性和针对性,事实上农作物图像时刻受自身因素和环境因素的影响而发生变化;因此,提高图像分割有效性、实时性^[11],在此基础上设计通用性、交互性及扩展性较强的测量系统,具有较大的现实意义。

人擅长于目标的识别定位,容易发现目标的空间位置,这种定性能力是计算机所不及的,而计算机基于数学模型精确地提取目标的能力则又是人所不及的。如果将人的作用有机地融入到图像分割过程中,达到人与计算机互相取长补短的效果,就有可能得到满意的分割结果^[12]。同时,大量试验结果表明, R 、 G 、 B 分量及其不同组合形式及数学运算形成的一些特征参数,作为颜色特征的分割效果较为理想^[13-14],为此,本文提出动态交互式颜色特征提

取方法和逐点颜色分量差值筛选法,以便实现目标作物与背景的有效分离。在相机自动定焦对焦模式下,通过试验探究单位像素实际值与物距的对应关系,提出由镜头仰角造成图像畸变的矫正方法。以期通过提高硬件配置和软件的有效设计来提高装置的运行效率,以便实现装置对多种作物几何特征量的实时测量。

1 系统总体设计

1.1 测量作物特征量的技术框架

测量平台由测距通信模块、图像获取模块、PC机数据处理存储系统3部分组成,其技术框架如图1所示。测量过程具体如下:①PC机通过Matlab软件调节、调用USB500工业相机,获取目标作物的图像并保存。②用交互式离散化样点特征采样或区域特征采样方法,采集作物颜色的特征信息,并建立颜色特征信息库;用逐点颜色分量差值筛选法实现作物目标区域与背景的有效分离。③运用对应的数学计算模型计算作物几何特征量的像素值。④通过测距模块实时采集目标作物到相机距离并完成和PC机的通信,根据距离值获得单位像素实际值,从而计算作物几何特征量的实际值。

1.2 系统硬件平台

本系统硬件平台如图2a所示。系统选用Dell笔记本主板,英特尔奔腾四核N3530处理器,内存

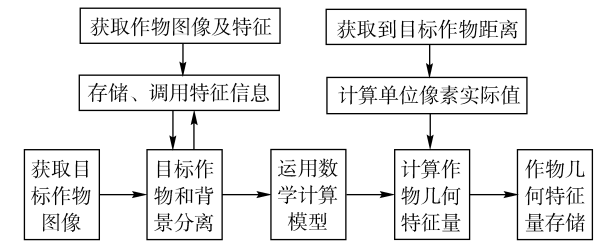
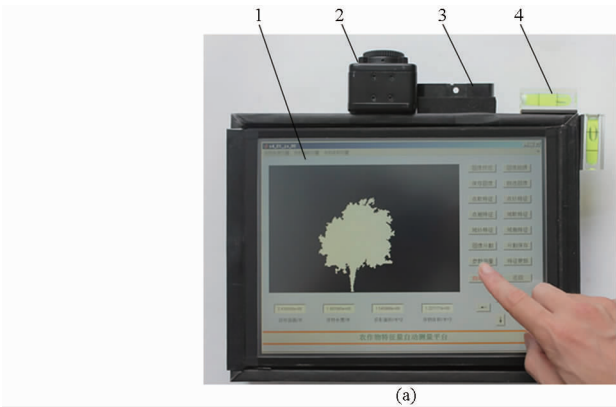


图 1 测量作物特征量的技术框架图

Fig.1 Technical frame for crops feature measurement system



4 GB,固态硬盘 120 GB,大容量锂电池供电,操作系统为 Windows 7。显示屏选用 KSF104 工业液晶电脑触摸屏,响应时间小于等于 12 ms,动态画面显示流畅,操作方便,可实现实时测量。

测距通信模块选用 GP2Y0A60SZ0F 或 GP2Y0A710K0F 红外测距传感器,测量范围分别为 10 ~ 150 cm、100 ~ 550 cm,可根据距离范围选用,供电电压直流 4.5 ~ 5.5 V。图像获取模块选用 USB500

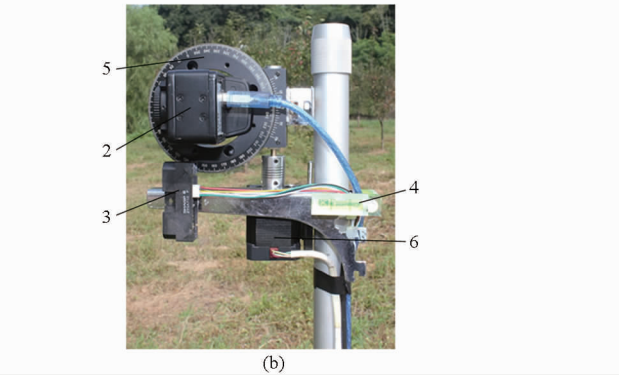


图 2 作物特征量测量装置及相机支架图

Fig.2 Measurement device and camera bracket

(a) 作物特征量测量装置图 (b) 相机支架

1. 工业触摸屏 2. 工业相机 3. 测距传感器 4. 水准仪 5. 电动分度盘 6. 步进电动机

工业相机,该相机为 CS 接口,可用 USB 接口供电;支持 Windows 7 操作系统,支持静态图像捕捉、保存和动态 AVI 图像捕捉录制;高速的 USB 标准接口输出,实现与 PC 数据对接,实时显现图像,具有自动定焦对焦功能。此模式下,一定物距,单位像素实际值为定值。相机、测距传感器也可与主机分离,安装在作业机械上。作业机械上相机支架主要由电动分度盘、步进电动机和 S7 - 200 PLC 组成,Matlab 与 PLC 间数据通信通过 OPC 技术实现^[15]。

装置装有水准仪,用于调节镜头主光轴位于水平面上。装置便于手持式操作和作业机械中分体式安装。

1.3 系统软件平台

在 Windows 7 操作系统下,搭建了基于 Matlab R2013a 的应用程序开发环境,开发了用于本测量系统的操作软件。软件由相机调节模块(用于分体式),颜色特征量采集、补充和删除模块,图像摄取和分割模块,作物几何特征量计算、存储模块组成。

2 系统软件设计

2.1 软件功能及界面设计

系统软件的主要功能是控制、调节相机镜头,获取作物图像,交互式提取、补充、更新作物颜色特征

信息库,实现作物目标区域和背景的有效分割,根据所建数学计算模型,计算作物的几何特征量并保存。软件界面主要有菜单栏、操作按钮、图像显示窗口和测量值显示框 4 部分组成。菜单栏主要是选择测量类别、作物种类和环境特征,输出特征库和测量值,每类菜单都预留了扩展选项,便于进一步扩展测量内容和特征信息;操作按钮主要有相机控制(分体安装时用)、参数设置、图像获取、特征量采集、图像分割、特征量计算等几方面的分步操作按钮和在建立特征量信息库前提下全自动测量按钮。图像显示窗口主要供相机调控、图像预览、图像拍摄、图像分割的效果显示用。测量值显示框主要显示目标作物到相机距离、计算得到的长度、面积、体积等量。测量软件的主界面如图 3 所示。

2.2 作物图像的获取

为提取某一方向的作物投影面,尽可能减小图像的畸变,对类旋转体作物(指可基本看成旋转体的一类作物,如苹果、番茄、玉米等),取图像时镜头主光轴应尽可能与作物对称轴所在平面垂直;对平面类作物,相机镜头主光轴应尽可能与作物所在平面垂直;对非旋转体作物,相机镜头主光轴应尽可能与作物最低重心放置时所放置平面垂直。当上述拍摄要求不易控制时,对小形作物如番茄、苹果、马铃薯等,可参照文献[3]在作物后面放置带正方形的



图3 作物几何特征量测量软件界面

Fig. 3 Software operation interface for crops geometrical feature measurement

拍摄背景来解决图像的畸变矫正(本文试验时按上述要求已作了一定的控制,为显示图像与背景的分离效果,未作放置正方形背景的图像矫正处理),然后从菜单栏选好测量类别、对象、环境特征后分别点击软件操作界面“图像预览”、“图像拍摄”等按钮获取并保存作物图像。对大形作物如树冠等,此时相机可安装在带有竖直面内转动的数控电动分度盘(受S7-200 PLC控制)的相机支架上,如图2b所示。操作如下:①调节相机底座水平。②调节镜头在竖直面内仰角,尽可能使树冠图像在拍摄画面的中间,根据步进驱动器的细分设定和给定步进电动机脉冲及分度盘的减速比等计算并记录相机的仰角。③根据镜头到树冠一定范围内的距离变化规律确定拍摄时刻并拍摄保存图像。在作业机械上拍摄时,相机支架可装在作业机械一定位置上,同一批作物高度若相差不大,第1、第2步可在作业前调好(路基平坦前提下)。测量软件在拍摄图像过程中,通过时间函数,并以系统当前时间命名图像,以jpg格式保存到PC机的指定文件夹中。

软件界面设置了“自选图像”按钮,可点击选择已在硬盘中保存的图片。

2.3 作物颜色特征量的获取

农作物图像受光照、湿度、周边作物、土壤颜色、天空背景、作物枝叶物理特性等周边环境的影响,并时刻发生着变化。如何提高颜色特征量的针对性和实时性,是作物目标区域与背景有效分割的关键。按照农作物的不同形态,本文提出了交互式离散化样点特征采样和区域特征采样两种方式。对于稻穗、树冠等类作物,由于稻穗籽粒、树叶的间隙处有多个背景像素点存在,最好选用离散点式的特征采样方法。而对于梨、橘、苹果等实心类作物,最好选用区域特征采样方法。

2.3.1 交互式离散化样点特征量采集

从菜单栏选择测量类别、作物种类和环境特征后,点击“图像预览”,此时显示窗口出现特征图像,点击主界面的“点取特征”,鼠标显示十字线,处于选择状态,如图4a所示。移动鼠标可选择有代表性的样点的颜色特征值(样点数目不限,但为不影响测试速度,仍需作适当控制),被选择的样点显示如图4b的红色点,选择完成后,按鼠标右键或Enter键,Matlab将采集到的颜色特征量自动保存为大小为 $n \times 3$ 颜色特征量矩阵,记为 A ,即

$$A = \{(R, G, B) | (R, G, B) = (R_1, G_1, B_1) \cup (R_2, G_2, B_2) \cup \dots \cup (R_n, G_n, B_n)\}$$

此时,界面显示被提取的区域(为对比明显图中设成红色),如图4c所示。经与原图对比,判断所选样点的特征对于该类作物是否具有较好的代表性。经过对比如发现还有较大的作物区域未被提取,可继续选择样点,按鼠标右键或Enter键,增补的颜色特征量与前面颜色特征矩阵合并保存到原颜色特征矩阵中。如误选背景颜色特征量,可点击主界面,“点删特征”按钮,按前面操作,从特征库中删除这些特征值。点击“点补特征”可进行实时补充,直至达到较好的提取效果。

2.3.2 区域特征量采集

从菜单栏选择测量类别、作物种类和环境特征后,点击界面“图像预览”,此时显示窗口出现特征图像,点击界面的“域取特征”,鼠标显示为跨越整个屏幕的十字线,处于选择状态,在颜色特征量提取区域边缘任意一个地方点击鼠标左键,确定折线起点,然后继续沿着目标区域边缘点击鼠标左键,两点之间自动以红色直线相连,随着鼠标沿着目标区域点击,折线不断自动在2个点击点间连接,直至终点与起点重合,封闭折线围成的采样区域记为 S ,如图4d所示。按鼠标右键或Enter键,程序从原图片中将采样区域分割出来,如图4e所示,由于采样区域样点较多,为提高程序运行效率,用等距抽样法提取颜色特征值,即软件对图4e所包含像素点的 R 、 G 、 B 对应分量的矩阵按以作物主色调分量从小到大排列,按精度需要等间隔取样(间隔可按需要设置),组成新的 $n \times 3$ (n 为所取的样点数)颜色特征矩阵,记为 A ,即

$$A = \{(R, G, B) | (R, G, B) = (R_1, G_1, B_1) \cup (R_2, G_2, B_2) \cup \dots \cup (R_n, G_n, B_n) \\ (R_i, G_i, B_i) \in S \quad (i=1, 2, \dots, n) \\ \min(X) \leq X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq \max(X)\}$$

根据检测作物的主色调确定 $X=R$ 或 G 或 B 并

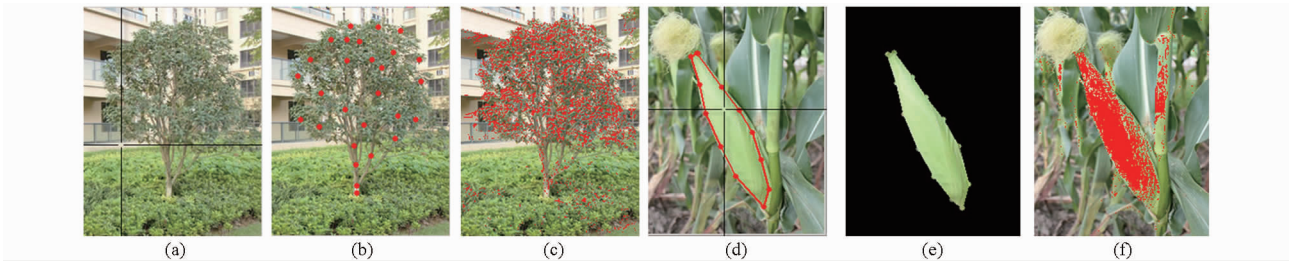


图 4 交互式样点、区域颜色特征量提取过程

Fig.4 Color feature extraction based on interactive sample points and region method

自动保存,作为后面分割图像的颜色特征量。

此时界面显示被提取的区域如图 4f 所示。与原图对比,如发现还有目标区域未被提取,可继续选择采样区域,直至达到较好的提取效果。所有的颜色特征值全部被保存在颜色特征矩阵中,作为后续作物图像提取的颜色特征量。如发现误选背景颜色特征量,可点击主界面,“域删特征”按钮,按前面操作,删除这些特征值。点击“域补特征”可进行实时补充。再按鼠标右键或 Enter 键,颜色特征量再次保存到原颜色特征量矩阵中。

2.3.3 颜色特征库的建立、使用和维护

建立与环境因素和作物特征相对应的颜色特征信息库,有利于提高作物图像目标区域提取的效率,是作物几何特征量实时测量的关键,也可为进一步分析作物颜色特征量随环境的变化规律提供基础数据。下面以桂花树为例说明颜色特征库的建立、使用和维护过程。

(1)颜色特征库的建立。光照强度是影响颜色特征的重要因素之一,本文的每一类作物颜色特征库由特征作物的颜色特征矩阵和颜色特征 Excel 数据表组成。为避免单个颜色特征库过分庞大,影响测试速度,每类作物颜色特库按不同的光照度范围建立。按强光照(相当于夏日晴天光照,光照度为 8 万 lx 以上)、一般光照(光照度介于 2 ~ 8 万 lx)、弱光照(相当于阴天,光照度为 2 万 lx 以下)3 级建立(如要进一步提高针对性,可缩小光照度范围,分更多级数)。选 8 棵有代表性的桂花树作为建立颜色特征库的样本(编号:1,2,⋯,8),在某一光照度范围(用光照度计测作物目标区域的光照度),从 1 号样本开始,按 2.3.1 节进行交互式采样,样点选择尽可能有代表性,并适当控制样点数目(过多会影响测量速度),采样结束后,样点的颜色特征值被保存在 $n \times 3$ 颜色特征矩阵 A 中(n 为所选样点数目,3 为样点颜色的 R 、 G 、 B 3 个分量),其中 A 可表示为 $A = A_1 \cup A_2 \cup \cdots \cup A_i$ (i 为 1 号样本上采样的次数, A_i 为每次取样后补充的颜色特征矩阵)。为提高采样效率,避免重复采样,可以将已建立的颜色特

征矩阵作为 2 号样本目标区域提取的颜色特征量,并检验提取效果,如提取效果显示有较大的目标区域未被提取,可点击“点补特征”,在未被提取的区域内继续补充取样,按鼠标右键或 Enter 键,程序自动将补充增加的颜色特征矩阵与上一样本中的颜色特征矩阵 A 合并,形成新的颜色特征库 A ,此时界面又会显示新的提取效果,如还有较大的目标区域未被提取,可继续点击“点补特征”,程序再次自动将补充增加的颜色特征矩阵与上一采样建立的颜色特征矩阵 A 合并,再次形成新的颜色特征库 A ,依次循环,直到第 2 个样本上取得较好的提取效果。此时颜色特征库 A 可表示为 $A = A_1 \cup A_2 \cup \cdots \cup A_i \cup A_{i+1} \cup \cdots \cup A_{i+k}$ (k 为 2 号样本上采样的次数),依次类推,将上一样本中建立的颜色特征矩阵用于下一样本提取的颜色特征量,并不断补充颜色特征库,直至全部样本采样结束。至此完成一个采样周期。为提高颜色特征量针对性,可进一步在同一光照度范围内不同光照度下(间隔按实际要求确定),进一步提取不同样本的颜色特征量,查看提取效果,补充颜色特征量,直至形成较有代表性的颜色特征矩阵,并使用 xlswrite 函数把颜色特征量存入 Excel 的对应表中。依照同样方法可建立其他不同光照度范围内的颜色特征库。

作物数量较少时,为使颜色特征量更有针对性,也可按 2.3.1 节或 2.3.2 节方法直接逐个提取。

(2)颜色特征库的使用。选择分类菜单,点击“图像分割”按钮,程序会立即调用前已建立的对应的 Matlab 中的颜色特征矩阵,或通过 Matlab 的 xlsread 函数直接调用 Excel 文件对应表中的颜色特征量(速度会慢一些),作为分割作物目标区域与背景图像的颜色特征量,快速完成作物目标区域的提取。有些作物在迎光或背光目标区域提取时,需要按作物附近的实时光照度确定所属分类。

点击导出菜单,可导出各类作物 Excel 文件形式的颜色特征量,为进一步分析作物颜色特征随环境的变化规律提供基础数据。

(3)颜色特征库的维护。作物不同生长阶段,颜色特征也往往会发生明显改变。因此,在同一作物的一个生长周期内,随着时间的推移,对特征库内颜色特征量要不断进行添加、修改、删除等操作,以适应作物不同生长期内目标区域的提取。

2.4 图像分割

基于彩色图像能提供比灰度图像丰富得多的信息,且 RGB 颜色空间的算法不需要进行颜色空间的转换,具有运算速度快,便于对图像进行实时处理的特点^[11],本文提出一种颜色分量差值筛选法。算法实现步骤为:①根据作物类型、形态和环境,点击软件界面菜单,选择分割对象和环境特征。②按 2.1.1 节点点击软件界面“图像拍摄”或“自选图像”,获取目标作物图像。③点击软件界面“图像分割”,调用颜色特征信

息库 A ,运用逐点颜色分量差值筛选法,将原图像矩阵 I_0 各像素点 $R、G、B$ 分量循环与颜色特征量矩阵中各组分量作差,如有一组 3 个差值都小于阈值(视背景复杂度而定,背景复杂,可设成 1~3),3 个颜色分量均设为 255(显示白色),否则设为 0(显示黑色),形成新的图像矩阵 $I=(R,G,B)$ 。相应的算法可表示为:如果 $|R_i-r_j|<\varepsilon$ 且 $|G_i-g_j|<\varepsilon$ 且 $|B_i-b_j|<\varepsilon$, 其中 $(R_i, G_i, B_i) \in I_0 (i=1,2,\cdots,m), (r_j, g_j, b_j) \in A (j=1,2,\cdots,n), \varepsilon$ 为阈值,则令 $(R_i, G_i, B_i) = (255, 255, 255)$; 否则 $(R_i, G_i, B_i) = (0,0,0)$ 。④将有些需进一步处理的图像转化为二值图进行闭运算、开运算和删除小面积区域等操作得到作物目标区域和背景有效分离的图像。图 5 是 3 种不同作物目标区域与复杂背景分离的效果图。



图 5 3 种不同作物目标区域与复杂背景分离的效果图
Fig. 5 Separation of three kinds of crops target regions from complex background

2.5 图像的矫正

照相机拍摄图像最理想的位置是镜头主光轴能垂直于拍摄平面,保证图像按原来几何比例重现。但实际拍摄中较难做到,或多或少会产生图像畸变。对于采用带正方形特定背景的图像畸变矫正,可参照文献[3]进行。对通过调节镜头角度拍摄作物图像畸变的矫正,可按下列方法进行:图 6a、6b 是照相机拍摄时,感光元件、镜头、树冠的纵向切面示意图。当树冠高度低于 $H+L\tan\alpha$ 时,通过调节镜头高度,镜头主光轴能垂直于拍摄平面,如图 6a 所示。当树冠高度大于 $H+L\tan\alpha$,镜头需有一个 θ 仰角,如图 6b 所示,这时照相机对 O' 以上部分(相当于物距增加)树冠会进行压缩, O' 以下部分(相当于物距减小)树冠会进行放大,图像产生畸变。要改善图像畸变,可以设想,把树冠绕 O' 旋转一个 θ 角,这时树冠成像的畸变可减到最小。设任意点 P 在 $O'y$ 上坐标为 (x,y) , x 轴垂直纸面向里。所成像的像素行列为 (N,M) ,在旋转后的 $O'y'$ 上的坐标为 (x',y') ,所成像的像素行列为 (N',M') ,结合透镜成像公式和图 6b 中的几何对应关系可得到前后像素行列间的数学关系。

变量间的数学关系

$$N' = N_0 + \frac{f(N - N_0)}{f\cos\theta + k(N - N_0)\sin\theta} \tag{1}$$

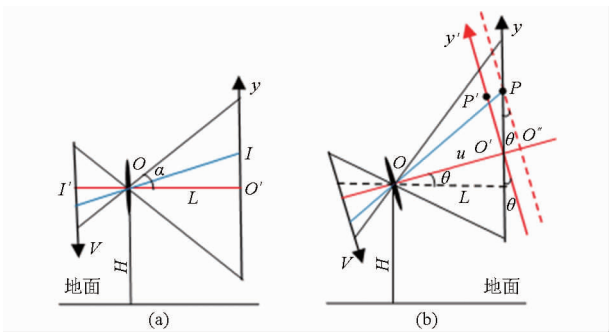


图 6 图像矫正的纵向示意图
Fig. 6 Longitudinal schematic diagrams of image rectification
(a) 镜头主光轴垂直于拍摄平面 (b) 镜头主光轴与拍摄平面不垂直

$$M' = M_0 + \frac{f(M - M_0)\cos\theta}{f\cos\theta + k(N - N_0)\sin\theta} \tag{2}$$

式中 $N_0、M_0$ ——原图像中心点位置坐标
 f ——焦距,mm θ ——仰角
 k ——单位像素代表的长度(可通过选取特征点来计算),mm

本矫正方法实际上只涉及到一个仰角 θ 的实际测量,从而为图像的实时矫正成为可能。由于调节时已把相机底座调水平和镜头对准树干,故水平方向畸变矫正暂不考虑。

图 7b 是利用式(1)、(2)通过 Matlab 编程对图 7a 图像矩阵进行变换,得到改善后的像素矩阵显示的图像。通过上述矫正,基本能达到实际所需测

量精度。如需进一步对镜头本身产生畸变进行矫正可参照刘亿静等方法实施^[16]。



图 7 图像矫正前后的对比

Fig. 7 Comparison of images before and after rectification
(a) 镜头有仰角时的拍摄图 (b) 矫正后效果图

2.6 图像单位像素实际值与物距关系式的建立

为获得目标作物区域实际尺寸,需建立单位像素实际值与物距的对应关系。方法如下:在定焦镜头自动对焦模式下,从距离照相机 0.2 m 初始位置开始,在不同距离范围内,由近及远分别移动 10 cm × 10 cm、20 cm × 10 cm、20 cm × 20 cm、66 cm × 50 cm 矩形板(视距离使用不同面积矩形板),每次移动距离 20 cm,并拍摄矩形板在不同位置处的图像。完成图像采集后,用 Matlab 软件分别提取矩形板区域并计算区域像素面积,然后计算单位像素所代表的实际面积值,并对物距、单位像素的实际面积进行拟合,得出两者对应关系式,如图 8 所示。由图可知,定焦模式下,图像单位像素实际面积与物距有

很好的相关性,决定系数达到 0.999 8。由此可知,在相机自动定焦对焦拍摄模式下,如果测出作物到镜头的距离,就可计算出该作物图像目标区域的实际面积值。

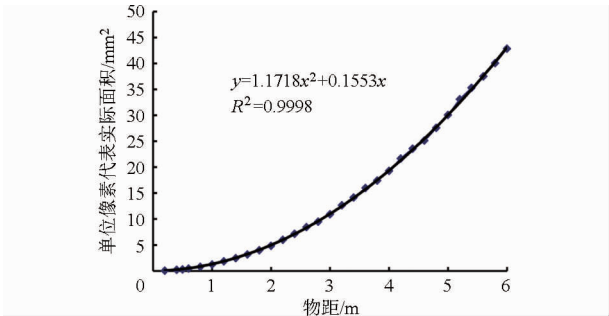


图 8 单位像素代表实际面积与物距对应关系

Fig. 8 Relationship between actual area for unit pixel area and object distance

2.7 计算流程的分类设计

作物几何特征量的测量是对作物自动采摘、分类检测及产量估测的基础。本软件采用分类建模设计思想,把作物分成类旋转体和非旋转体;作物几何特征量分成长度、面积、体积;测量环境分成强光照、一般光、弱光照等。这样有利于软件对图像的分类处理,分类建模和分类计算,减少计算环节,扩大测量范围并有较好的扩展性。表 1 是对作物几何特征量计算流程的分类设计。

表 1 作物几何特征量的计算流程

Tab.1 Calculation process for crops geometrical features

测量类型	代表作物及所测特征量		主要计算流程
长度	类旋转体	苹果、番茄、梨等直径	确定对称轴,旋转至轴竖直或水平,利用边界像素特点计算
	非旋转体	弯曲稻穗、丝瓜、茄子等长度	提取骨架,消除骨刺,延伸骨架至边界,拟合曲线,计算曲线长度
面积	类旋转体	梨、瓢瓜、苹果等表面积	确定对称轴,旋转至轴竖直或水平,建立表面积计算模型并计算
	非旋转体	叶面积,作物投影面积	计算目标区域像素面积,计算投影面积实际值
体积	类旋转体	玉米、瓢瓜、苹果等体积	确定对称轴,旋转至轴竖直或水平,建立体积计算模型并计算
	非旋转体	生姜、马铃薯、树冠等体积	计算像素投影面积,建立体积与投影面积对应关系,计算体积

表 1 中需要说明的是:①流程中图像获取、畸变矫正、目标区域提取、二值化、单位像素实际值计算等共性部分不再表述。②生姜、马铃薯投影面积指最低重心水平放置时水平面上的投影面积(树冠投影面积指树冠在任意 2 个相互垂直竖直面上投影面积的平均值)。③小型作物图像畸变矫正可参照文献[3]进行,树冠图像畸变矫正可参照 2.5 节进行。

2.8 分类计算模型的建立

2.8.1 非旋转体作物体积与投影面积关系的建立

各选取 38 个大小不一的马铃薯、生姜和 28 棵桂花树,作为研究非旋转体类作物体积和投影面积的相关性的样本。生姜、马铃薯投影面积指最低重心水平放置时水平面上投影面积,树冠投影面积指

相互垂直的任意 2 个竖直面上投影面积的平均值。通过试验发现,这些非旋转体类作物的体积和投影面积有较大的相关性,运用最小二乘法^[17]建立模型,如图 9 所示,决定系数都在 0.96 以上。因此,计算非旋转体作物体积时,可通过体积与投影面积的估算模型,把体积计算问题转换为投影面积的计算。

2.8.2 骨架提取、毛刺的去除和作物长度的计算

骨架主干长度可认为是作物中心线的长度。在 Matlab 运行环境下骨架主干长度计算方法^[18]如下:首先使用 bwmorph 函数^[19]对图像整体骨架进行提取,通常提取的骨架会有毛刺分支的存在,故检测骨架的端点与节点时,要逐级删除毛刺;更新端点和节点的信息,检测端点数目,直至端点数目等于 2,删

除毛刺过程结束;将主干两端延伸至作物图像的边界^[20]。然后对骨架主干像素点进行重新拟合,求出新拟合曲线的长度,获得作物长度。

2.8.3 类旋转体作物体积的计算

体积测量的流程可参照表 1。对于类旋转体作物的体积计算模型可采用逐层分割、累加的方法来

构建。考虑到图像采集时作物旋转轴线方向的任意性,首先通过求解目标区域最小外接矩形或区域质心、最大内接圆圆心等特殊像素坐标,确定旋转轴的方向,并计算轴线与图像中坐标轴的夹角,最后使用 imrotate 函数将目标区域旋转,使得旋转中心轴线与 y 轴或 x 轴平行,进而利用体积计算模型求解。

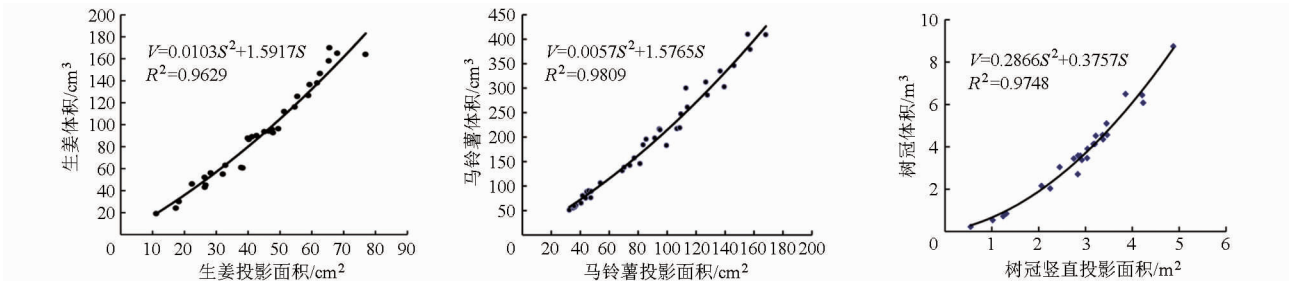


图 9 不规则作物体积和投影面积的对应关系曲线

Fig.9 Relationship between volume and projective area for irregular crops

3 系统精度和实时性测试

3.1 弯曲作物的长度测量

选取一个面内弯曲的稻穗、丝瓜、茄子(本文仅限二维空间内弯曲)各 8 个作为试验样本。先从菜单栏选择测量类别、测量对象和环境特征,再分别点击软件主界面的图像预览、图像拍摄、点取特征(稻穗)或域取特征(丝瓜、茄子)、图像分割、测特征量

等按钮,系统自动完成弯曲作物长度的测量,图 10 为样本图像及骨架主干提取的效果图。丝瓜、茄子的人工测量采用细线测量法完成,即从作物的一端开始,沿着曲线走向,进行分层切片,依次确定每个切片的中心点,并引细线穿过各个中心,直至另一端点结束,测量细线长度即为中心线长度。人工测稻穗长度时把稻穗平摊在平面上并捋直,用刻度尺直接测出。表 2 为系统测量和人工测量结果的比较。



图 10 作物目标区域和骨架主干的提取

Fig. 10 Extraction of crops target region and skeleton trunk

表 2 稻穗、丝瓜、茄子长度人工与系统测量结果的比较

编号	稻穗长度			丝瓜长度			茄子长度		
	人工测量/cm	系统测量/cm	相对误差/%	人工测量/cm	系统测量/cm	相对误差/%	人工测量/cm	系统测量/cm	相对误差/%
1	20.8	20.1	3.37	58.5	60.4	3.25	35.0	36.5	4.37
2	18.1	19.7	8.84	42.1	45.1	7.13	41.0	40.4	1.46
3	17.2	16.2	5.81	38.3	35.2	8.09	39.2	37.1	5.31
4	15.4	16.7	8.44	40.6	37.9	6.65	39.5	42.6	7.82
5	14.6	15.4	5.48	53.4	55.8	4.49	11.3	12.4	9.73
6	19.3	17.9	7.25	47.8	51.9	8.58	12.5	11.9	4.80
7	21.7	19.5	10.14	55.2	52.7	4.53	18.0	19.1	6.11
8	16.9	18.1	7.10	43.3	40.2	7.16	12.1	13.3	9.92
平均值			7.05			6.23			6.19

3.2 类旋转体作物的体积测量

选取玉米、瓢瓜、番茄各 8 个作为类旋转体作物体积测试的试验样本。参照 3.1 节操作,采用域取

特征取样方法,系统自动完成旋转类作物体积测量。图 11 是样本图像提取的效果图。

人工体积测量在实验室用排水法测量,测玉米

体积时用保鲜膜包住。结果如表 3 所示。

3.3 非旋转体作物体积的测量

选取生姜、马铃薯、树冠各 8 个(棵)作为非旋转体类作物体积测试的试验样本。参照 3.1 节操作,生姜、马铃薯选域取特征,树冠选点取特征,系统

自动完成不规则类作物的体积测量。图 12 是不同种类样本图像提取的效果图。

人工精确测量树冠体积方法按照文献[21]体积累加方法进行。生姜、马铃薯人工体积测量在实验室用排水法测量,结果如表 4 所示。



图 11 类旋转体作物目标区域与背景分离的效果图
Fig. 11 Separation of crops target region from background for rotary body

表 3 玉米、瓢瓜、番茄体积人工与系统测量结果的比较

编号	玉米体积			瓢瓜体积			番茄体积		
	人工测量/cm ³	系统测量/cm ³	相对误差/%	人工测量/cm ³	系统测量/cm ³	相对误差/%	人工测量/cm ³	系统测量/cm ³	相对误差/%
1	290.0	300.5	3.61	2 018.5	2 055.1	1.81	208.0	217.8	4.72
2	240.0	255.7	6.55	1 266.0	1 324.8	4.65	157.0	163.3	4.01
3	180.0	184.7	2.60	598.5	629.9	5.25	127.0	131.2	3.31
4	110.0	115.4	4.88	358.6	341.8	4.68	104.0	111.9	7.57
5	128.0	121.3	5.27	476.8	506.9	6.31	117.9	121.3	2.88
6	285.0	271.1	4.87	419.7	399.9	4.72	167.8	161.8	3.58
7	275.0	263.6	4.16	287.3	272.5	5.15	171.4	181.9	6.13
8	300.0	284.6	5.14	462.8	479.7	3.65	147.6	153.2	3.79
平均值			4.64			4.53			4.50

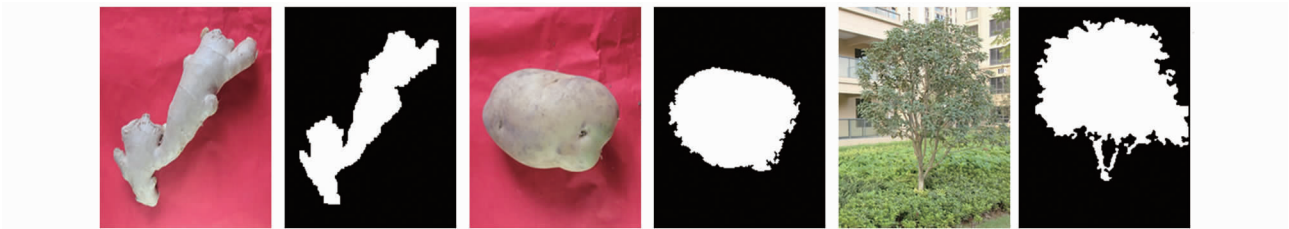


图 12 不规则作物目标区域与背景分离的效果图
Fig. 12 Separation of irregular crops target region from background

表 4 马铃薯、生姜、树冠体积人工与系统测量方法结果的比较

编号	马铃薯体积			生姜体积			树冠体积			
	人工测量/cm ³	系统测量/cm ³	相对误差/%	人工测量/cm ³	系统测量/cm ³	相对误差/%	人工测量/m ³	系统测 1/m ³	系统测 2/m ³	相对误差/%
1	69	73.68	6.79	59	53.41	9.47	6.01	5.97	6.48	3.58
2	80	83.21	4.02	55	53.69	2.37	6.53	5.70	5.52	14.09
3	85	95.57	12.43	71	80.87	13.90	3.21	2.78	3.34	4.67
4	77	82.48	7.11	91	82.63	9.20	5.67	6.02	5.77	3.97
5	86	95.23	10.73	88	103.46	17.57	4.79	4.53	4.03	10.65
6	94	103.43	10.03	95	98.79	3.99	3.97	4.35	4.83	15.62
7	93	101.39	9.02	100	99.04	0.96	5.64	4.93	5.37	8.69
8	115	120.54	4.81	73	76.12	4.27	3.32	3.34	3.01	4.37
平均值			8.12			7.72				8.20

上述 3 组试验结果表明,系统测量精度一般能达到 4% ~ 8%,能基本满足对作物自动化作业的需要,上述测量在颜色特征库建立后,也可直接点击软件界面“自动测量”按钮,全部自动完成,经多次试验,全部自动完成的平均运行时间约为 1.63 s,有较好的图像处理速度,可基本用于实时测量。

弯曲作物长度测量仅限二维平面,对三维弯曲作物长度测量有较大误差,树冠目标区域提取仅限单一树木,对连体树木有较大误差,两者有待进一步研究。

4 结 论

(1)提出了动态交互式颜色特征提取方法和逐点颜色分量差值筛选法,既考虑了作物及背景图像颜色变化的复杂性,又弥补了计算机在目标识别定位方面的薄弱性,在实际作物目标区域与背景分离操作中取得了比较好的效果。如融合纹理特征等分割算法,会收到更好的分割效果。

(2)通过大量试验,研究了有些非旋转体作物体积与投影面积的关系,发现它们有较高的相关性,

决定系数大于 0.96,这为测量这类作物的体积、质量等特征量提供了新的思路。对树冠体积与竖直投影面的相关性研究仅限于桂花树,对其它树冠的相关性有待进一步研究。

(3)通过测距传感器测出目标作物与相机镜头的距离、建立单位像素实际值与物距的对应关系,来计算目标作物区域几何量的实际值,避免了需要在背景中设置参照从而计算单位像素代表的实际值,有利于系统的实时测量。

(4)所设计测量装置的软件系统界面操作便捷、通用性强、扩展性好;硬件主体结构紧凑、携带方便,便于手持式测量和分体式安装。系统经过精度测试和实时性测试,能完成多种作物的几何特征量测量,一般测量误差为 4% ~ 8%,自动处理时间平均 1.63 s(建好颜色特征库时),有较好的图像处理速度,能基本用于实时测量。

(5)图像的矫正仍借助于特殊背景或图像拍摄的前置调节,对一般拍摄图像的畸变矫正有待进一步研究。

参 考 文 献

- Shimiuz H, Heins R D. Computer-vision-based sytem for plant growth analysis[J]. Transactions of the ASAE,1995,38(3):959 - 964.
- Ahmad I S, Reid J F. Evalution of color representations for maize image[J]. Journal of Agricultural Engineering Research,1996, 63(3):185 - 196.
- 郭文川,周超超,韩文霆.基于 Android 手机的植物叶片面积快速无损测量系统[J].农业机械学报,2014,45(1):275 - 280.
Guo Wenchuan, Zhou Chaochao, Han Wenting. Rapid and non-destructive measurement system for plant leaf area based on Android mobile phone[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(1):275 - 280. (in Chinese)
- Zhou R, Damerow L, Sun Yunrui, et al. Using color features of cv. ‘Gala’ apple fruits in an orchard in image processing to predict yield[J]. Processing Agriculture,2012,13(6):568 - 580.
- 王传宇,郭新宇,肖伯祥,等.玉米叶片生长状态的双目立体视觉监测技术[J].农业机械学报,2014,45(9):268 - 273.
Wang Chuanyu, Guo Xinyu, Xiao Boxiang, et al. Maize leaf movement monitoring based on binocular stereo vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(9):268 - 273. (in Chinese)
- 熊俊涛,邹湘军,刘念,等.基于机器视觉的荔枝果实采摘时品质检测技术[J].农业机械学报,2014,45(7):54 - 60.
Xiong Juntao, Zou Xiangjun, Liu Nian, et al. Fruit quality detection based on machine vision technology when picking litchi[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(7):54 - 60. (in Chinese)
- 张卫正,徐武峰,裘正军,等.基于多视角图像的植物叶片建模与曲面面积测量[J].农业机械学报,2013,44(7):229 - 234.
Zhang Weizheng, Xu Wufeng, Qiu Zhengjun, et al. Plant leaf modeling and surface area measuring based on multi-view images [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(7):229 - 234. (in Chinese)
- 杨红云,孙爱珍,胡昶,等.基于图像视觉的水稻茎叶夹角测量研究[J].科技通报,2015,31(5):81 - 85.
Yang Hongyun, Sun Aizhen, Hu Chang, et al. Study on the angle between rice stem and leaf measuring method using image vision technology[J]. Bulletin of Science and Technology,2015,31(5):81 - 85. (in Chinese)
- 徐欲恺.计算机视觉技术在作物形态测量中的应用[D].北京:首都师范大学,2005.
Xu Xinkai. The application of computer vision in plant measurement [D]. Beijing: Capital Normal University,2005. (in Chinese)
- 林开颜,吴军辉,徐立鸿.彩色图像分割方法综述[J].中国图象图形学报,2005,10(1):1 - 10.
Lin Kaiyan, Wu Junhui, Xu Lihong. A survey on color image segmentation techniques[J]. Journal of Image and Graphics,2005, 10(1):1 - 10. (in Chinese)
- 杨璟,朱雷.基于 RGB 颜色空间的彩色图像分割方法[J].计算机与现代化,2010(8):147 - 149.
Yang Jing, Zhu Lei. Color image segmentation method based on RGB color space[J]. Journal of Computer and Modernization, 2010(8):147 - 149. (in Chinese)

- Xiong Juntao. Study on vision positon of litchi picking manipulator on complex environment [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- 9 Mikolajczyk K, Schmid C. Scale & affine invariant interest point detectors[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(1): 63 – 68.
- 10 Lowe D G. Object recognition from local scale-invariant feature[C] // Proceedings of the International Conference on Computer Vision, 1999: 1150 – 1157.
- 11 Lowe D G. Distinctive image feature from scale-invariant key points [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91 – 110.
- 12 邹湘军, 卢俊, 邓继忠, 等. 机械与视觉关联定位实验平台: 中国, 200810027369.6 [P]. 2008-04-11.
- 13 熊俊涛, 邹湘军, 陈丽娟, 等. 基于机器视觉的自然环境下成熟荔枝识别[J]. 农业机械学报, 2011, 42(9): 162 – 166.
- Xiong Juntao, Zou Xiangjun, Chen Lijuan, et al. Recognition of mature litchi in natural environment based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 162 – 166. (in Chinese)
- 14 Guo Aixia, Xiao Deqin, Zou Xiangjun. Computation model on image segmentation threshold of litchi cluster based on exploratory analysis[J]. Journal of Fiber Bioengineering and Informatics, 2014, 7(3): 441 – 452.
- 15 汪松. 基于 SIFT 算法的图像立体匹配方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- Wang Song. Research on image matching algorithm base SIFT[D]. Xi'an: Xidian University, 2013. (in Chinese)
- 16 Anirban DasGupta. Asymptotic theory of statistics and probability [M]. New York: Springer, 2008.
- 17 姚志均, 刘俊涛, 周瑜, 等. 基于对称 KL 距离的相似性度量方法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(11): 1 – 4.
- Yao Zhijun, Liu Juntao, Zhou Yu, et al. Similarity measure method using symmetric KL divergence[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2011, 39(11): 1 – 4. (in Chinese)
- 18 许钢, 林园胜, 江娟娟, 等. 改进型 SIFT 立体匹配算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(6): 134 – 138.
- Xu Gang, Lin Yuansheng, Jiang Juanjuan, et al. Research on improved SIFT stereo matching algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(6): 134 – 138. (in Chinese)
- 19 吴立德. 计算机视觉[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1993: 209 – 228.

~~~~~

(上接第 10 页)

- 12 刘宁宁, 田捷. 基于区域特征的交互式图像分割方法及其应用[J]. 软件学报, 1999, 10(3): 235 – 240.
- Liu Ningning, Tian Jie. Region feature-based interactive segmentation method and its application in medical image analyzing[J]. Journal of Software, 1999, 10(3): 235 – 240. (in Chinese)
- 13 赵德安, 刘晓洋, 陈玉, 等. 苹果采摘机器人夜间识别方法[J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 15 – 21.
- Zhao Dean, Liu Xiaoyang, Chen Yu, et al. Image recognition at night for apple picking robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 15 – 21. (in Chinese)
- 14 王书志, 张建华, 冯全, 等. 基于纹理和颜色特征的甜瓜缺陷识别[J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 175 – 179.
- Wang Shuzhi, Zhang Jianhua, Feng Quan, et al. Defect detection of muskmelon based on texture features and color features[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 175 – 179. (in Chinese)
- 15 林宝全, 陈冲. 基于 Matlab 与 PLC 的实时控制系统[J]. 南昌大学学报, 2011, 33(3): 298 – 302.
- Lin Baoquan, Chen Chong. Real-time temperature control system based on Matlab and PLC[J]. Journal of Nanchang University, 2011, 33(3): 298 – 302. (in Chinese)
- 16 刘亿静, 苗长云, 杨彦利. 基于经纬映射的径向畸变快速校正算法的研究[J]. 激光杂志, 2015, 36(1): 1 – 4.
- Liu Yijing, Miao Changyun, Yang Yanli. Rapid radial distortion correction algorithm based on latitude and longitude of image mapping[J]. Laser Journal, 2015, 36(1): 1 – 4. (in Chinese)
- 17 盖钧镒. 试验统计方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 219 – 221.
- 18 秦筱械, 蔡超, 周成平. 一种有效的骨架毛刺去除算法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(12): 28 – 31.
- Qin Xiaowei, Cai Chao, Zhou Chengping. An algorithm for removing burr of skeleton[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Nature Science, 2004, 32(12): 28 – 31. (in Chinese)
- 19 Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. Digital image processing using Matlab [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011: 144 – 178, 252 – 282.
- 20 郭斯羽, 周乐前, 温和. 长叶柄轴对称植物叶片长度的图像测量方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(6): 866 – 873.
- Guo Siyu, Zhou Leqian, Wen He. Image-based length measurement method of axially symmetric plant leaves with elongated petiole [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(6): 866 – 873. (in Chinese)
- 21 翟长远, 赵春江, 王秀, 等. 树型喷洒靶标外形轮廓探测方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 173 – 177.
- Zhai Changyuan, Zhao Chunjiang, Wang Xiu, et al. Probing method of tree spray target profile[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(12): 173 – 177. (in Chinese)