

基于机器视觉的茶陇识别与采茶机导航方法

汤一平 王伟羊 朱威翔 云

(浙江工业大学信息工程学院, 杭州 310023)

摘要: 为提高机器采摘茶叶整体质量及采摘效率,提出一种基于机器视觉的机采茶陇识别与采茶机导航的方法。在采茶机器的前方配置摄像头用于获取待采摘茶陇的视频图像,对安装在采茶机上的摄像机内外参数进行离线标定;对茶陇的视频图像用高斯滤波、颜色坐标系转换、局部 OTSU 多阈值法图像分割、最小二乘法直线拟合等算法进行处理,提取出茶陇的左右边缘线;根据标定结果计算出茶陇中心线,并在驾驶座的显示屏上标识出目前采茶机的采摘状态,包括茶陇中心线和采茶机的偏移情况,提示驾驶员根据识别结果进行适当调整。实验结果表明,提出的基于机器视觉的机采茶陇识别及采茶机导航的方法能有效解决目前机采茶叶老嫩茶叶一刀切下的弊端,为完全自动化采摘奠定了基础。

关键词: 采茶机; 机器视觉; 茶陇识别; 导航

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)01-0045-06

Tea Ridge Identification and Navigation Method for Tea-plucking Machine Based on Machine Vision

Tang Yiping Wang Weiyang Zhu Wei Xiang Yun

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In order to improve tea quality and efficiency of plucking by using the tea-plucking machine, this paper proposed a kind of identification method of the tea ridge and navigation method of the tea-plucking machine. Firstly, the inside and outside parameters of camera offline were calibrated, which were put in the front of tea-plucking machine for getting the video information about the tea ridge. Secondly, the Gauss filter method was used to reduce noise jamming, and after customizing the rectangular window, the local OTSU thresholds method was used to segment image, the image was obtained by the camera. Then the points which belonged to the edge lines of the tea ridge were found and noted based on space constraint, the space constraint can improve the speed and the accuracy to find the points. Least square linear fitting method was used to fit the left and right edge lines of the tea ridge. Then the center line of the ridge was calculated according to the calibration results, and the state of the tea-plucking machine, including the center line of the ridge and the offset of the tea-plucking machine, was showed on the screen of the driver's seat in order to prompt the driver how to adjust the machine. Experimental results show that this method can identify the tea ridge accurately and navigate the tea-plucking machine, and also can solve the disadvantages of cutting leaves with too many old leaves, and lay a solid foundation for fully auto-cutting type tea-plucking machine in the future.

Key words: tea-plucking machine; machine vision; tea ridge identification; navigation

引言

中国是茶叶的主要原产地,是世界上茶叶种植、消费、出口最大的国家之一。2009 年中国茶叶的生

产和消费均为世界第一^[1]。茶叶的采摘属于劳动密集型作业。目前,我国茶叶采摘和用工的矛盾已经成为茶叶产业发展的瓶颈,加快发展茶叶采摘机械化势在必行。通过机械化替代人工采茶,不但可

以降低劳动强度,节约成本,同时可以提高生产效率和茶叶品质^[2]。

目前各种农业收割机正在蓬勃发展^[3-8]。推广使用的手提或背负式采茶机大多都是针对大宗茶采摘鲜叶而生产的。这类采茶机在一定程度上提高了采摘效率。但是其仍然需要人力携带沉重的机械;并且一刀切下,使得芽叶大小不一,完整性较差,而且对茶树的机械性损伤较大。在文献[9-11]中提到的依赖计算机视觉系统识别茶树嫩芽并实现定位采摘的方法可以保证叶片的完整性,整个采摘过程完全自动化。但这种茶叶采摘机器人不适用于大宗茶叶的自动化采摘,只适于名优茶的采摘。

目前国内外尚未检索到基于机器视觉的针对大宗茶叶机械采摘的相关研究报道。而现有的农机视觉导航技术适用于作物窄而陇间距大的情况,不适用于作物宽且垄间距十分狭窄的茶园^[12-14]。

针对乘用型采茶机在割刀与茶陇对准上出现偏差导致茶陇蓬面根据采茶机的偏离状态将老嫩茶叶一刀切下的弊端,有必要从农艺技术和采摘技术两个层面研究这一问题。在农艺技术方面,应对机采面进行整形修剪,将茶陇蓬面整形为一个统一的采摘面水平高度基准的圆弧形垄冠面;在采摘技术方面,应使得圆弧形割刀与茶陇蓬面吻合切割。因此,如何利用视觉有效辅助采茶机操作人员调整切割高度以及对准纵向茶陇中心线,是提高机器采摘茶叶整体质量及采摘效率的关键所在。本文提出一种基于机器视觉的机采茶陇的识别与采茶机导航方法。

1 乘用型采茶机工作原理

我国茶园基本上处在丘陵地带,高低起伏的地貌对乘用型采茶机的设计提出了更高的要求。为了提升机采茶叶的品质,减少对茶树机械性损伤,对割刀的控制尤为重要。

图1是本文设计的一种乘用型采茶机。设计目标之一是该乘用型采茶机在切割采摘时所采摘的茶叶70%以上为嫩叶。乘用型采茶机控制机构主要包括视觉检测单元、割刀水平控制单元、割刀高度控制单元、割刀对准控制单元、割刀切割控制单元、集茶风机控制单元和行走机构控制单元。

乘用型采茶机在丘陵茶园采茶作业时是一个6自由度的运动,包括了 x 、 y 、 z 3个直角坐标轴方向的移动自由度和绕这3个坐标轴的转动自由度。乘用型采茶机驾驶员通过方向盘来实现对 x (采茶机前行方向)、 y (横向方向)2个移动自由度的控制,但是对横向方向的控制不够精准。

应实现对横向方向的精准控制,以提高机器采

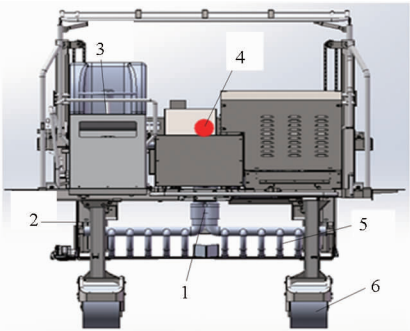


图1 采茶机结构图

Fig.1 Structure of tea-plucking machine

1. 割刀水平控制单元 2. 割刀高度控制单元 3. 驾驶室
4. 摄像机 5. 弧形割刀 6. 行走控制单元

摘茶叶整体品质。乘用型采茶机横跨茶陇左右两边,通过控制圆弧形割刀的横向位移对准茶陇中心线和一定的切割深度来切割茶树上嫩叶部分,实现高效精准地切割采摘。安装在采茶机割台中央位置的摄像机(图1中的圆圈部分)用于获取茶园中茶陇的视频图像,通过视觉检测单元检测出茶陇的中心线,然后通过割刀对准控制单元来调整割刀的左右位置,使得割刀的圆弧切割面与茶陇的树冠面较好吻合。

茶陇切割深度的控制是通过控制割刀高度(z 轴方向)来实现的;割刀水平控制主要用于即使在采茶机发生倾斜情况下仍能保证割刀的圆弧切割面与茶陇的树冠面有较好的吻合。由于篇幅限制不在本文中进行讨论。

2 乘用型采茶机的视觉检测

2.1 测量坐标系及几何测量原理

以摄像机在地面上的投影点为原点建立采茶机车体坐标系,以摄像机光心为原点建立摄像机坐标系。2个坐标系的投影关系如图2所示。

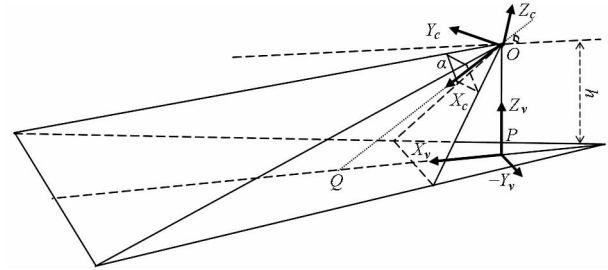


图2 采茶机坐标系和摄像机坐标系之间的投影关系

Fig.2 Projection relationship between tea-plucking machine coordinate system and camera coordinate system

图2中, X_v 、 Y_v 、 Z_v 为采茶机车体坐标系, X_c 、 Y_c 、 Z_c 为摄像机坐标系, X_c 沿摄像机光轴方向垂直于成像平面 α ,垂点即为主点。 X_v 沿车辆行驶方向向前,

h 是摄像机距离地面的高度, 摄像机中心 O 点在采茶机车体坐标系中的坐标为 $t = (l, d, h)$ 。在固定摄像机时, 保证 l 和 d 为 0。摄像机相对采茶机车体的侧倾角 ψ 、横摆角 φ 、俯仰角 θ 、高度 h 可以通过摄像机外部标定获得。

根据透视成像模型, 通过摄像机内部参数可以实现像素坐标与摄像机坐标之间的转换^[15]。

2.2 摄像机内部参数标定

摄像机的内部参数标定采用文献[16]中所建议的算法。

用 Matlab 标定工具箱处理获取摄像机的内部参数。摄像机的内部参数标定实验如图 3 所示。

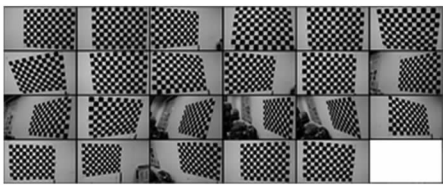


图 3 摄像机内部参数标定实验

Fig. 3 Camera internal parameter calibration experiment

2.3 摄像机外部参数标定

摄像机的外部参数标定采用文献[17]提出的一种简单实用的三线标定法。该方法只需平坦地面上的 3 条平行直线, 再通过手工或自动的方式在图像内确定这 3 条直线的交点和另外 3 点的坐标, 即可进行摄像机外部参数标定。为方便计算及之后驾驶员对图像的理解, 尽量将摄像机的横摆角和侧倾角调至 0° 左右, 再进行三线法标定。标定过程如图 4 所示。

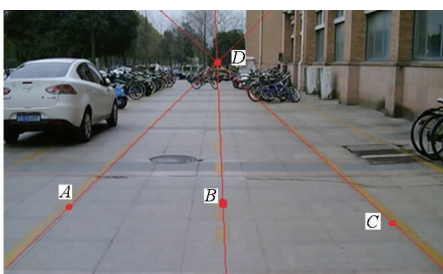


图 4 外部参数标定实验

Fig. 4 Camera external parameter calibration experiment

其中 A 、 B 、 C 这 3 点分别是地面上平行于采茶机车体前进方向 X_c 的 3 条直线上的任意 3 点, D 点为这 3 条直线的交点, 即图像上的灭点。获取这 4 点的像素坐标值, 与采茶机车体坐标 X_c 到这 3 条直线的距离, 就能通过计算得到侧倾角 ψ 、横摆角 φ 、俯仰角 θ 、高度 h 这些外部参数。

3 茶陇边线检测及中心线估算

3.1 图像二值化阈值分割

茶陇边线的检测主要依赖于数字图像处理。茶

树与茶树间隔的区域在亮度上具有明显的差异, 因此有利于将茶树区域分割出来。

摄像机获取的原始图像中, 茶树区域的亮度明显高于茶树间的区域。对该原始图像进行处理, 首先进行高斯滤波。高斯滤波处理有助于减少图像的噪声; 并将 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间, 用 V 分量进行图像灰度化处理。

在对图像进行阈值分割之前, 首先将图像的有效区域(即茶田区域)进行多窗口划分。所谓多窗口划分, 就是将完整的图像分割成规则的几何形状的子图像, 每个子图像都作为一个矩形窗口。通过这样的划分来限定茶陇边线所在的区域。

根据摄像机透视投影关系, 在三维世界空间中的茶田平面上进行确定尺寸的矩形窗口划分, 然后投影到二维图像平面中, 从而形成近大远小的矩形窗口划分效果。矩形窗口的划分遵循下述规则:

(1) 在三维世界空间内定制矩形窗口, 其行数为 6 行, 由近及远, 依次分布, 矩形窗口之间没有间隙。

(2) 在三维世界空间内, 从采茶机前方 2 m 开始定制, 令矩形窗口为长方形, 矩形窗口第 1 行高度为 0.5 m, 宽度为 0.2 m, 由近到远, 行的高度每次以 0.5 m 增长, 成一个等差数列, 即第 2 行高度为 1 m。故 6 个矩形窗口覆盖的长度范围为 10.5 m。

(3) 将每行矩形窗口的上、下边界通过摄像机透视投影关系投影到二维图像平面, 得到图像平面内矩形窗口的纵向定位。

(4) 在二维图像平面中, 以 0.2 m 的横向宽度, 在横向布置矩形窗口, 以图像的中心线为轴心线, 分为左右两边, 直至图像区域边缘。

(5) 对分割后的各矩形窗口进行命名, I 为行, 位于图像的下边缘; J 为列, 以采茶机的视觉中心线划分为左、右, 左右对称; 左侧为负, 右侧为正。

定制结果如图 5 所示, 黄色网格是三维坐标下的矩形窗口在二维图像中的显示。

茶陇之间的宽度一般都是已知的。本文实验对

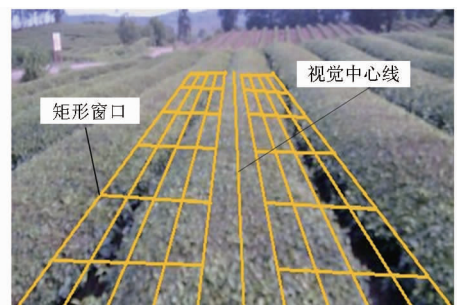


图 5 矩形窗口定制结果

Fig. 5 Result of rectangular window

象的茶陇宽度在 1.4 m 左右,因此茶陇边线必定出现在 55 ~ 85 cm 之间,即 $|J| = 3 \sim 5$ 。

为了提高图像处理速度和茶陇边线识别的精确度。本文仅对图像中间区域的 $|J| = 3 \sim 5$ 的矩形窗口采用局部块的 OTSU 多阈值自动分割,并将其他无关区域置为白色。最后对二值图进行消除黑色孤立点块处理,得到最终二值图。

3.2 记录茶陇边缘点

阈值分割后的二值图有许多噪声干扰,图像上中间区域的茶树左右边缘线分别位于图像左右两边,如图 6 所示。采茶机出现一定偏离时,图像中下部分仍然可以保证左右边缘线分别位于图像左右两边。

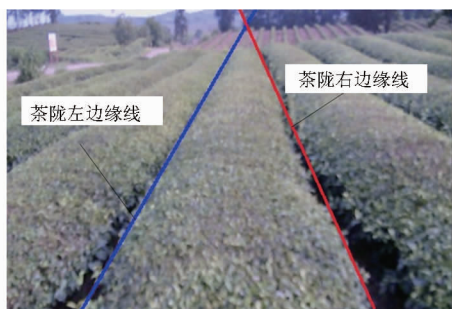


图 6 茶陇左右边缘线示意图

Fig.6 Diagram of edge lines of tea ridge

为降低茶叶间空隙的干扰,准确获得茶陇边缘线,基于此约束条件提出一种新的算法。

提取左边缘线点:

(1)从每一帧图像竖直限定区域的最下方,即取 y 为最大可选值,直至 y 为最小可选值,向上遍历。

(2)对于一帧图像的每一行中,即每一个 y 值, x 取图像中间,向左遍历,直到 x 取 0。

(3)判断当前点为前景点,并且从该点开始向左连取 n 个点都是前景点,记录该点,否则继续遍历。

(4)如果 y 小于最小可选值,则结束当前帧。

在步骤(2)和步骤(3)中,当 x 取到 0 时, y 自减 1 并跳转到步骤(2);在步骤(1)、步骤(2)、步骤(3)中, y 取到小于 0,则跳转到步骤(4)。

以相同的方式记录右边缘线点:

(1)从每一帧图像竖直限定区域的最下方即取 y 为最大可选值,直至 y 为最小可选值,向上遍历。

(2)对于一帧图像的每一行中,即每一个 y 值, x 取图像中间,向右遍历,直到 x 取最大为图像宽度。

(3)判断当前点为前景点,并且从该点开始向右连取 n 个点都是前景点,记录该点,否则继续遍

历。

(4)如果 y 小于最小可选值,则结束当前帧。

在步骤(2)和步骤(3)中,当 x 取到宽度图像时, y 自减 1 并跳转到步骤(2);在步骤(1)、步骤(2)、步骤(3)中, y 取到小于 0,则跳转到步骤(4)。

其中 n 值是个经验值,本文取 $n = 3$ 。

3.3 直线拟合

直线拟合算法主要有 Hough 直线变换^[18]和最小二乘法直线拟合^[19]。

Hough 直线变换所需的计算量较大,且容易检测出多条直线。虽然目前许多改进算法能降低计算量,消除检测的多条直线。但相对的,也会导致检测的直线产生较大的误差。

而最小二乘法速度较快,但对误差点敏感,取点时,几个点的误差就会影响到整条直线的检测。

基于本文提出的边缘点提取算法能较好地提取准确的边缘点,并排除干扰点,因此采用最小二乘法将 3.2 节提取的边缘点拟合成左右两条边缘线。

3.4 茶陇中心线的估算

根据 3.3 节所拟合而成的两条边缘线,以及摄像机标定的结果,将图像上的边缘线转换到实际采茶机车体坐标系中;再根据实际的车体坐标系中的两条边缘线计算求得车体坐标系中的中心线,一方面将该中心线的车体坐标系再重新转换到图像上显示,从而让驾驶员能在界面上直观了解茶陇中心线的情况;同时将车体前进的实际坐标方向转换到像素坐标上,从而更为直观地提示驾驶员当前车体与中心线的偏移情况。另一方面将该中心线的车体坐标值展示在控制显示器上,让驾驶员知道车体与割刀需要调整的具体实际参数,实现采茶机的导航与割刀的控制。

4 实验验证及分析

本文设计的智能化自动切割式采茶机视觉辅助系统的摄像单元采用了 USB 接口的 CMOS 摄像机,其分辨率为 1280 像素 × 720 像素;通过 USB 接口与便携式计算机处理器连接,便携式计算机配置如下:CPU 为奔腾 4、内存 3 GB、独立显卡、512 MB 显存,操作系统为 Windows 7,系统中安装了本文研制的智能化自动切割式采茶机视觉辅助系统软件。

软件中使用 Matlab 语言实现采茶机摄像机的内部参数标定,使用 JAVA 语言实现采茶机摄像机的外部参数标定、图像预处理、矩形窗口划分、确定阈值、边缘线检测和中心线计算。其中,采茶机的前方摄像机的内外部参数标定是离线进行的,然后将

这些标定值和子窗口定制结果(带有距离信息的网格)保存在系统参数配置文件中;图像预处理、边缘线的检测和中心线的计算是在线进行的。

图 7a 是实地拍摄图像的其中一帧画面,图 7b 是根据矩形网格,采用局部 OTSU 多阈值算法分割

后的二值图像,图 7c 中,左边蓝色直线和右边红色直线是检测的茶陇边线,中间黑色虚线是计算得到的中心线,黄色粗线为目前采茶机实际前进的运动矢量。

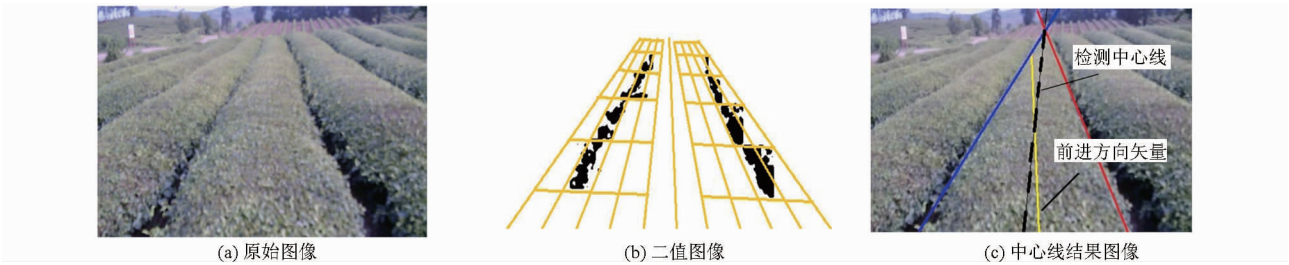


图 7 茶园实地实验结果
Fig. 7 Field test result

实验研究表明,本文提出的茶陇边缘线检测算法能适应环境光线的变化,并具有较好的检测精度,每一帧的图像处理时间在 200 ms 左右。

表 1 所示的是图 7c 中黑色的中心线在黄色的车体实际前行运动矢量的相对位置。 y 为负表示中心线在车体左侧;为正则表示在右侧。如表 1 中的第 1 列数据表示在车体正前方 2 113 mm 处,所估算的茶陇中心线在车体的左边 79.7 mm。此时,需要控制割刀向左移动 79.7 mm,并逐渐调整车体向右转向直至黑色中心线和黄色粗线前进中心线重合。

实验结果表明,在采茶机前方 2 m 左右,采茶机的中心线偏向于计算的中心线右侧 79 mm 左右;在采茶机前方 4 m,采茶机的中心线与计算的中心线偏差为 1.4 mm 左右;这与实际茶陇的情况基本吻合。

5 结束语

提出了一种基于视觉的机械化茶叶采摘的辅助系统。首先对安装在采茶机上的摄像机进行离线标定,确定摄像机的内外部参数;通过标定获得茶陇边缘线和中心线在二维图像平面与三维实际茶田的坐标转换关系。然后对摄像机所获视频图像通过数字图像处理的方式检测出茶陇的左右边缘线,并根据标定的结果,计算出其中心线。最后根据中心线的坐标参数实现采茶机的导航。另外,还可以通过机器视觉的方式来估算采茶机的侧倾角、横摆角、俯仰角的信息,以实现刈割台更精准控制。

表 1 计算结果 Tab.1 Calculation results					mm
坐标轴	坐标				
x	2 113	2 122	3 949	4 697	
y	-79.7	-77.7	1.4	29.7	

参 考 文 献

1 封槐松,陈宗懋,林智,等. 全球茶叶市场现状和展望——参加联合国粮农组织政府间茶叶工作组第 19 届会议的报告[J]. 中国茶叶,2010,32(8):4-9.

2 张浩,陈勇,汪巍,等. 基于主动计算机视觉的茶叶采摘定位技术[J]. 农业机械学报,2014,45(9):61-65,78. Zhang Hao, Chen Yong, Wang Wei, et al. Positioning method for tea picking using active computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(9):61-65,78. (in Chinese)

3 Li P L,Lee S H,Hsu H Y. Review on fruit harvesting method for potential use of automatic fruit harvesting system[J]. Procedia Engineering,2011,23:351-366.

4 Du X Q,Chen D,Zhang Q,et al. Dynamic responses of sweet cherry trees under vibratory excitations[J]. Biosystems Engineering, 2012,111:305-314.

5 Zhao D A,Lu J D, Ji W, et al. Design and control of an apple harvesting robot[J]. Biosystems Engineering,2011,110(2):112-122.

6 Kohan A,Borghae A M,Yazdi M,et al. Robotic harvesting of rose damascene using stereoscopic machine vision[J]. World Applied Sciences Journal,2011,12(2):231-237.

7 Dong F,Heinemann W,Kasper R. Development of a row guidance system for an autonomous robot for white asparagus harvesting [J]. Computers and Electronics in Agriculture,2011,79(2):216-225.

8 Ji W,Zhao D A, Cheng F Y, et al. Automatic recognition vision system guided for apple harvesting robot[J]. Computers and Electrical Engineering,2012,38(5):1186-1195.

9 韦佳佳,陈勇,金小俊,等. 自然环境下茶树嫩梢识别方法研究[J]. 茶叶科学,2012,32(5):377-381.

- Wei Jiajia, Chen Yong, Jin Xiaojun, et al. Reserches on tender tea shoots identification under natural conditions[J]. Journal of Tea Science, 2012, 32(5): 377 – 381. (in Chinese)
- 10 刘志杰, 田艳娜, 杨亮亮, 等. 重叠条件下茶叶嫩芽的自动检测方法[J]. 中国体视学与图像分析, 2009, 14(2): 129 – 132.
Liu Zhijie, Tian Yanna, Yang Liangliang, et al. Automatic detection of over lapped tea leaf sprouts[J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2009, 14(2): 129 – 132. (in Chinese)
- 11 韦佳佳. 名优茶机械化采摘中嫩芽识别方法的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
Wei Jiajia. Researches on high-quality tea flushes identification for mechanical-plucking[D]. Nanjing: Nanjing Forestry Univerdity, 2012. (in Chinese)
- 12 刁智华, 赵明珍, 宋寅卯, 等. 基于机器视觉的玉米精准施药系统作物行识别算法及系统实现[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 47 – 52.
Diao Zhihua, Zhao Mingzhen, Song Yinmao, et al. Crop line recognition algorithm and realization in precision pesticide system based on machine vision[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(7): 47 – 52. (in Chinese)
- 13 张志斌, 潘华稳, 李琛, 等. 一种基于平均垄间距的视觉导航垄线识别算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(22): 191 – 194.
Zhang Zhibin, Pan Huawen, Li Chen, et al. Crop rows identification base-row interval for field vision guidance system [J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(22): 191 – 194. (in Chinese)
- 14 陈娇, 姜国权, 杜尚丰, 等. 基于垄线平行特征的视觉导航多垄线识别[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 107 – 113.
Chen Jiao, Jiang Guoquan, Du Shangfeng, et al. Crop rows detection based on parallel characteristic of crop rows using visual navigation[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 107 – 113. (in Chinese)
- 15 贾鑫. 智能车辆视觉感知中的车道标线识别方法的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
Jia Xin. Study on lane recognition method of intelligent vehicle visual detection[D]. Changchun: Jilin University, 2008. (in Chinese)
- 16 Bouguet J Y. Camera calibration toolbox for Matlab. [EB/OL]. (2013 – 12 – 02) [2014 – 10 – 21] http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html#parameters.
- 17 李青, 郑南宁, 张雪涛. 用三线法标定采茶机摄像机的外部参数[J]. 光电工程, 2004, 31(8): 23 – 26.
Li Qing, Zheng Nanning, Zhang Xuetao. Calibration of external parameters of vehicle-mounted camera with trilinear method[J]. Opto-Electronic Engineering, 2004, 31(8): 23 – 26. (in Chinese)
- 18 陈培俊, 伍铁军. 去除阴影后利用霍夫直线变换检测茶叶中的杂质[J]. 机械工程与自动化, 2014(5): 63 – 65.
Chen Peijun, Wu Tiejun. Detect impurities in tea-leaves by hough line transform after removing image shadow[J]. Mechanical Engineering and Automation, 2014(5): 63 – 65. (in Chinese)
- 19 范文博, 王文龙, 陈岳龙, 等. 最小二乘直线拟合方法及其在同位素地质年代学中的应用研究[J]. 地质论评, 2013, 59(5): 801 – 815.
Fan Wenbo, Wang Wenlong, Chen Yuelong, et al. Methods for least squares fitting of a straight line and their application in geochronology[J]. Geological Review, 2013, 59(5): 801 – 815. (in Chinese)