

基于机器视觉的乘用式智能采茶机设计与试验

汤一平¹ 韩旺明¹ 胡安国² 王伟羊¹

(1. 浙江工业大学信息工程学院, 杭州 310023; 2. 永康市威力园林机械有限公司, 金华 321300)

摘要: 针对目前乘用式采茶机作业时对采摘面的茶芽不能识别大小、老嫩茶叶一刀切下的弊端,设计了一种基于机器视觉的乘用式采茶机,提出了嫩茶自动识别与采茶机割刀的自动调平调高控制方法。通过对采茶机割台的位置伺服和水平度伺服控制,使得割刀面与茶陇蓬面有一个较好吻合,并能将割台与大地水平面保持一致;为了实现更为精准地切割,在采摘面的茶芽识别时采用2次最大类间差分法。首先获取采摘面的图像,利用B分量的阈值分割出茶叶区域;然后选取G和G-B分量的阈值,从茶叶区域中再分割出嫩茶区域;最后计算采摘面上嫩茶部分所占面积比例,以70%作为视觉伺服的控制基准。试验研究表明,提出的基于机器视觉的乘用式采茶机的嫩茶自动识别与采茶机割刀的自动调平调高控制方法能有效解决目前机采茶叶老嫩一刀切下的弊端,为今后全自动化茶叶采摘奠定了基础。

关键词: 机器视觉; 乘用式采茶机; 精准采摘; 位置伺服控制; 水平度伺服控制

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)07-0015-06

Design and Experiment of Intelligentized Tea-plucking Machine for Human Riding Based on Machine Vision

Tang Yiping¹ Han Wangming¹ Hu Anguo² Wang Weiyang¹

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

2. Yongkang Weili Garden Machinery Limited Corporation, Jinhua 321300, China)

Abstract: Presently, tea-plucking machine has a disadvantage that it cuts indiscriminately without identification of the tender tea. In order to solve this problem, a kind of tea-plucking machine was designed based on machine vision. A method was put forward to cut intelligently fused with position servo, visual servo and levelness servo. The cutting line was kept consistently with tea ridge and the header of machine was consistent with horizontal plane by levelness servo. The initial height of the cutter was set by position servo. In order to make the cutting more precise, PID algorithm was used to obtain highly subtle measurements. In terms of visual servo inspection, firstly, tea images of picking surface were taken and the threshold of B component in RGB was used to eliminate background and segment the range of tea. Secondly, the thresholds of G and G-B components were analyzed to distinguish tender leaves from the image by improved OSTU (the algorithm of threshold automatically extracted according to the maximum deviation). Template matched method and threshold of R component were useful to identify cutter line. Finally, the proportion of tender leaves area above cutter line in the image was calculated and its height was adjusted to ensure the ratio above 70%. Experimental result shows that the proposed method solves present disadvantages of tea-plucking machine effectively. Also, the efficiency of picking was improved with reduced labor cost.

Key words: machine vision; tea-plucking machine for human riding; precise picking; position servo control; levelness servo control

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^[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,同时提高生产效率和茶叶品质^[2]。

目前各种农业收获机正在蓬勃发展^[3-8]。其中,推广使用的手提或背负式采茶机大多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。

文献[9-12]提出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机械采摘的相关研究报道。

针对乘用式采茶机在割刀与待切割茶陇的嫩叶部分对准上出现偏差而导致老嫩茶叶一刀切下的弊端,本文拟从农艺技术和采摘技术 2 个层面解决这一问题。

在农艺技术方面,对茶树机采面进行整形修剪,茶陇蓬面整形为一个统一的以采摘面水平高度为基准的圆弧形垄冠面。标准化的茶叶农艺技术是通过“四个一致性”来实现的:整形修剪采茶机及机采时采茶机所用割刀参数一致,固定割刀的割台离地面高度一致,固定割刀的割台与水平面保持一致,割刀的中心轨迹线与采摘行的茶陇蓬面的中心线一致;通过采用标准化的修剪农艺措施,培育适应自动化机采的树冠面。

在采摘技术方面,现有国外生产的采茶机虽然割刀高度可调,但是在设定某一切割高度后采割过程中是不进行调高和调平的,这是由于该采茶机适用对象是栽培管理技术水平非常高并实现了标准化的茶园。因此,该技术在我国南方丘陵地带不适用。研究一种适应丘陵地带的乘用式智能化采茶机是大宗茶叶采摘机械化、自动化和智能化的必然需求。鉴于此,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。

针对现有采茶机工作时不分老嫩叶,一刀切下,使得芽叶大小不一、完整性较差、老梗老叶和破损叶

片含量较高且对茶树的机械性损伤较大等问题,本文提出一种基于机器视觉的嫩茶自动识别与采茶机割刀的自动调平调高控制方法,以提高茶叶新梢采摘的完整性和一致性,以及茶叶整体质量及采摘效率;并有效解决单人和双人抬式采茶机需背负人抬、劳动强度大、工耗多等难题,同时也为高度智能化自动茶叶采摘提供一种新的解决方案。

1 乘用式智能采茶机工作原理

我国南方地区茶园基本处在丘陵地带,高低起伏的地貌对乘用式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式智能采茶机。为了便于在丘陵地带作业,采茶机的机械部分采用了全液压驱动式履带行走机构,能有效降低采茶机的重心,提高采茶机的爬坡能力,并且便于转向。考虑到不同茶园的茶陇宽度不一致(有单株、2 株和 3 株),履带间距设计为可调。

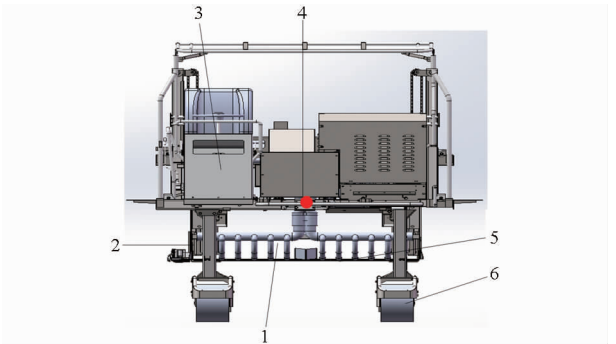


图 1 乘用式智能采茶机结构图

Fig. 1 Structure diagram 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. 摄像头 5. 圆弧形割刀 6. 行走机构控制单元

乘用式智能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。

乘用式智能采茶机在丘陵茶园进行采茶作业时是一个 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 3 个坐标轴的转动自由度。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,通过割台的高度及水平度来实现对 Z (高度方向)和采茶机摇摆角 2 个移动自由度的控制。因此,对于采茶机主要通过横向方向、高度方向及水平度的精准控制来提高机器采摘茶叶整体质量及采摘效率,使得切割刀具的圆弧形切割线对准圆弧形茶陇蓬面上的嫩芽层;割刀切割控制单元通过驱动刀片

产生往复运动,将茶树芽梢切断。关于对横向方向的精准控制,主要通过控制圆弧形割刀的横向位移对准茶陇中心线来实现,详细内容参照文献[13]。关于高度方向及水平方向的精准控制需要通过对割刀的控制,即通过割刀水平控制单元和割刀高度控制单元来实现,这是本文的研究重点。

2 割台设计

2.1 硬件设计

图 2 所示为割台的试验装置示意图。

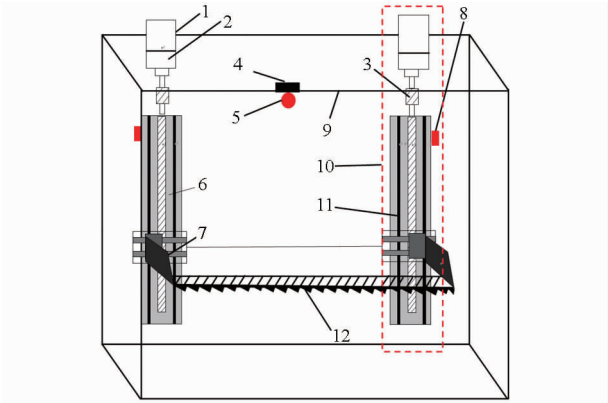


图 2 采茶机割台试验装置示意图

Fig.2 Schematic diagram of cutter for tea-plucking machine
1. 电动机 2. 减速器 3. 联轴器 4. 倾斜传感器 5. 视觉传感器 6. 滚珠丝杆 7. 滑块 8. 接近开关 9. 横梁 10. 升降机构 11. 直线导轨 12. 割刀

割台组件是由 2 个升降机构和 1 个割刀构成。升降机构主要由伺服电动机驱动,通过减速器减速并经联轴器驱动滚珠丝杆转动,螺母以移动副的方式固定在直线导轨上,滚珠丝杆转动带动固定着割刀一端的螺母沿直线导轨上下移动;直线导轨固定在采茶机的机体上。

驱动升降机构的伺服电动机采用 SMP8024,额定扭矩为 0.9 N·m,额定转速为 3 720 r/min;减速器采用 1:5 的蜗轮蜗杆变速箱,主要考虑割台具有自锁功能;设计水平负载小于 100 kg,垂直负载小于 50 kg。设计的必须转矩为 1.476 N·m。控制驱动伺服电动机的驱动器采用 FWS 系列交流伺服驱动器。

2.2 控制系统设计

割刀高度控制单元实现割台高度粗调整,即位置伺服控制。将伺服电动机中的编码器所感知到的位置信息与设置好的采摘树冠高度进行比较,同步控制驱动直流伺服电动机,使得割刀的高度基本与设置好的采摘树冠高度一致;割刀高度控制单元同时还接收视觉伺服对嫩茶层厚度的检测结果,根据检查结果判断实现割台高度的微调,以实现茶陇蓬面上的嫩茶层在高度方向上的精确切割。

割刀水平控制单元实现割刀水平控制,即水平度伺服控制。由于采茶机行走在茶园的丘陵地带,高低起伏的地貌使得采茶机的机身出现倾斜,因此将倾斜传感器安装在割台的水平横梁中间,如图 2 所示。采茶机在采摘过程中一旦检测到采茶机本体发生倾斜,会自动调节割刀的水平度,使得割刀始终与大地水平保持一致,保证切割刀的曲线与茶陇横截面外包络线基本吻合。

因此,共设计 2 种控制模式,第 1 种控制模式是位置伺服、水平度伺服和视觉伺服的融合控制,图 3 为融合了 3 种伺服控制的流程图。首先,系统根据操作人员设定的割台高度进行位置伺服控制,接着采用水平度伺服控制;最后根据视觉伺服分析的嫩叶生长情况对割刀的高度进行细微调整,保证切割下来的茶叶 70% 以上为嫩叶。

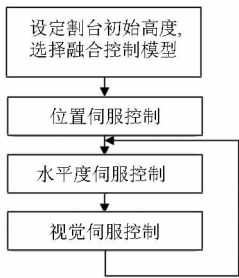


图 3 3 种伺服控制融合流程图

Fig.3 Flow chart of multi-servo control fusion

第 2 种控制模式仅包含高度伺服控制和水平度伺服的融合控制。

3 茶陇蓬面切割深度精准控制

精准控制的目标是基本上切割嫩叶层,设计指标是嫩叶部分占切割茶陇蓬面的 70% 以上^[14]。为了实现茶陇蓬面切割深度的精准控制,在割刀的左右侧导轨上设置高度基准,即用图 2 中标注的接近开关作为高度基准,但是仅仅按此基准进行割刀的切割控制会产生一定的误差。要实现茶陇蓬面切割深度精准控制只有融合位置伺服、水平度伺服和机器视觉伺服 3 种控制方法。

3.1 基于位置伺服的茶陇蓬面切割深度控制

在基于位置伺服的采茶机茶陇蓬面切割深度控制单元中,首先将割刀复位至初始高度,然后根据用户设定高度计算调节距离,通过上位机向下位机发出调整位置高度指令,下位机根据位置控制指令将其转换成带有运动方向的控制脉冲数,然后分别输入控制左右滑块移动的 FWS 系列交流伺服驱动器,2 个伺服驱动器分别驱动 2 个伺服电动机转动并带动左右 2 个滑块同步运动,最终使得割刀位置高度得到伺服控制。

3.2 基于水平度伺服的割刀水平度控制

在基于水平度伺服的采茶机割刀水平度控制单元中,将倾斜传感器固定在割台上部的中间,如图2所示,用于感知割台的倾斜状态;倾斜传感器采用SCA103T芯片,SCA103T系列采用了高度集成电子和MEMS传感器技术,是为高精度倾角测量而设计的,可用于较恶劣的工农业生产环境中,尤其对震动不敏感,非常适用于采茶机割台的调平控制。图4所示为割台水平度伺服控制框图。

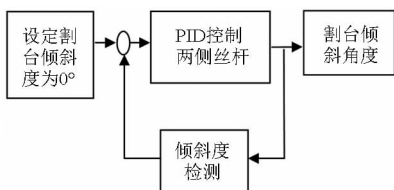


图4 割台水平度伺服控制框图

Fig.4 Schematic of levelness servo control of cutter

基于水平度伺服的割刀水平度控制与基于位置伺服的割台控制不同的是,前者是控制两侧丝杆(伺服电动机)向不同方向运动,移动距离为 $\frac{W \tan \alpha}{2}$, W 为割台的横梁长度, α 为割台的倾斜角;后者是控制两侧丝杆(伺服电动机)向相同方向运动,移动距离为 δ , δ 为设定的割台高度与实际割台高度的差。

SCA103T系列有2个模拟输出,分别为 O_1 和 O_2 ,用这2个信号进行差分信号输入,可提高倾斜测量的灵敏度并显著减小共模噪声,该芯片含有内部稳定测量和补偿,具有较高的环境适应性;SCA103T系列中的SCA103T-D05型微分灵敏度为8 V/g,从模拟输出采集割台的倾斜信息,模拟输出与割台的倾角的对应关系计算式为

$$\alpha = \arcsin \frac{V_{out}}{S} = \arcsin \frac{O_1 - O_2}{S} \quad (1)$$

式中 V_{out} ——测量芯片2个模拟输出的差分

S ——测量芯片的灵敏度,取8 V/g

α ——割台的倾斜角, (°)

以采茶机的前行方向为视角,割台顺时针的倾斜角 α 为正,反之为负。

3.3 基于机器视觉伺服的茶陇蓬面切割深度控制

基于机器视觉伺服的控制关键是茶陇蓬面的嫩茶部分的识别。本文的设计指标是嫩叶部分占切割茶陇蓬面的70%以上。因此,首先需要识别出待切割的茶陇蓬面面积;然后进一步识别出待切割的茶陇蓬面中嫩叶部分的面积。

3.3.1 待切割的茶陇蓬面的视觉识别

为了识别出待切割的茶陇蓬面,首先是要获取切割刀具的圆弧形刀刃线的位置,然后识别圆弧形

刀刃线以上部位中的茶陇蓬面。

茶叶的主要颜色特征是绿色,前景为茶叶,采用最大类别差分法获取RGB颜色空间中B分量的阈值,将背景从图像中剔除,从而减少了计算新阈值的干扰。

为了使刀刃线对准圆弧形茶陇蓬面上的嫩芽层,从茶陇蓬面横截面上来说,就是要保证割刀的刀刃线与采摘行的茶陇蓬面横截面上的嫩叶层相吻合,如图5所示。图中虚线为割刀的刀刃线,割刀的刀刃线(虚线)以上部分就是待切割的茶陇蓬面嫩叶部分。因此,首先需要用机器视觉的方式识别切割刀具圆弧形位置。

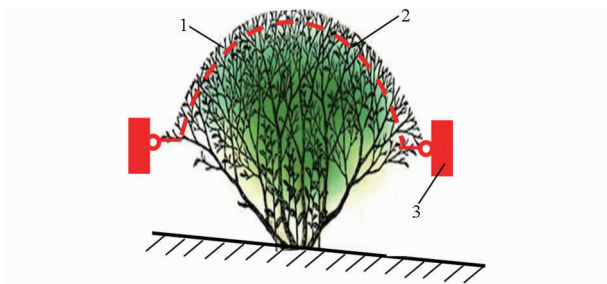


图5 割刀刀刃线与茶陇截面图

Fig.5 Knife edge line and tea long section

1. 树冠嫩叶层 2. 割刀刀刃线 3. 固定割刀的滑块

采茶机在作业过程中,割刀的刀刃线由于受到茶陇的遮挡,很难对割刀刀刃线进行直接视觉识别。而割刀是由两侧的滑块进行固定的,割刀的刀刃曲线是已知的,因此可以通过识别滑块的方式估算出割刀的刀刃线。本文将滑块的外观颜色涂成红色,因此只要识别出红色滑块的边缘,具体算法是对割刀部分分量图像 R 进行阈值分割及形状模板匹配,求得红色滑块在图像中的位置,再根据割刀与滑块的几何关系估算出割刀的刀刃线在茶陇截面中的空间位置,然后计算茶陇蓬面所占像素点的个数,记为 S_2 。

如图5所示,在估算出割刀的刀刃线在茶陇截面中的空间位置后,接着要对割刀刀刃线的外侧,即待切割的茶陇蓬面中的茶叶部分进行视觉识别。

3.3.2 待切割的茶陇蓬面中嫩叶部分的视觉识别

针对大宗茶,本文借鉴了文献[6,15]的方法,发现采用 G 和 $G-B$ 算子进行嫩叶分割的效果较好。 $G-B$ 为“超绿”算子,该算子能有效凸显茶叶绿色这一主要颜色特性。采用改进的最大类间差分法^[15-17]获取 G 和 $G-B$ 的最佳阈值 T_1 和 T_2 。

嫩茶的识别算法为:当 $G(i,j) > T_1$ 且 $G(i,j) - B(i,j) > T_2$,则认为该点 (i,j) 为前景像素点,即嫩叶;否则为背景像素点,即老叶及茶梗。

由于割刀部位处在采茶机下部,受外界光线影响不大,即使在茶园白天光照很强情况下,实际投射

到待切割的嫩芽层的光照强度也相对较弱,因此光照强度对嫩芽层图像获取的影响较小,算法具有较好的鲁棒性。

经计算及试验研究,通过改进的 OTSU 算法获取的 G 分量阈值为 118, $G-B$ 分量的阈值为 93。采用这 2 个阈值能够较好地过滤图像中的茶梗、老叶等背景信息。在阈值分割后,图像中还会出现空洞、毛刺,采用腐蚀膨胀能够较好地填补空洞,去除毛刺,从而提高嫩叶分割的完整性。

利用上述算法对茶陇上的老嫩叶进行了分割识别试验。试验处理图像如图 6 所示,从图中可见,通过上述算法处理能够准确地分割出嫩芽,且分割出的嫩芽也较为完整。

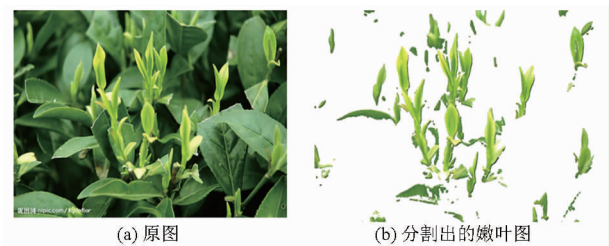


图 6 嫩叶部分分割识别结果

Fig. 6 Segmentation and recognition results of young leaves part

在图像中分割出嫩芽后,得到仅仅包含嫩叶的茶陇截面上的二值图像,然后统计二值图像中前景像素点的个数,得到待切割茶陇蓬面中的茶叶面积 S_1 。

3.3.3 待切割的茶陇蓬面中嫩叶部分所占面积的计算

茶陇蓬面图像中,受到关注的是割刀的位置及其以上的嫩叶部分,如果嫩叶部分占切割茶陇蓬面的 70% 以上,则此时待切割的茶陇蓬面是符合要求的。则割刀的刀刃以上部位的嫩芽部分与茶陇蓬面的面积比为

$$P = \frac{S_1}{S_2} \quad (2)$$

在茶陇蓬面切割深度精准控制中,需要将割刀的刀刃以上部位嫩芽与茶陇蓬面的面积比 P 阈值控制转换为割刀的高度调整值 δ_i 的控制,即需要不断地尝试提升割刀的高度,在控制算法中,提升一次的高度为 $\Delta\delta = 1 \text{ mm}$,直至 $\delta_i = \sum \Delta\delta$ 时,割刀的刀刃以上部位的嫩芽部分与茶陇蓬面的面积比 $P > 0.7$ 。

由于本文中基于视觉伺服的割刀高度控制是用于茶陇蓬面切割深度精准控制的,对于割台的调整高度是有一定限制的,基于视觉伺服的割刀高度控制范围为 $\pm 5 \text{ cm}$ 。

4 试验验证与分析

4.1 位置伺服控制

图 7 为下位机进行割刀高度伺服控制的试验结果,开始时割刀距地面 114.6 cm,如图 7a 所示;上位机设定向上移动 25 cm 后,割台向上移动 25.1 cm,如图 7b 所示。割台移动平均速度为 5 cm/s,产生的位置误差 0.1 cm,这是电动机在加减速过程中产生的误差。经过多次试验测量,误差范围均在 0.1 cm 以内,满足了位置伺服控制精度要求。位置伺服控制在下位机中完成,试验表明在对 2 个滑块的位置伺服控制中也具有较好的同步,使得割台在运行过程中能及时响应上位机视觉伺服产生的指令。

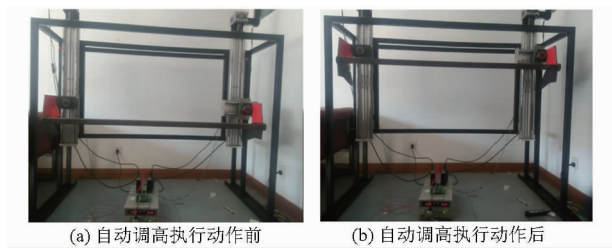


图 7 割刀高度伺服控制

Fig. 7 Height servo control of cutting knife

4.2 水平度伺服控制

按照设计要求将倾斜传感器安装在割台的横梁的中部,由于试验用割台总体质量大(80 kg)的原因,要改变割台倾斜状态有一定困难。为了验证水平度伺服控制,本试验将倾斜传感器安装在割刀的 中部。如图 8a 所示,试验开始时将割刀的倾斜度设置为 4.4° ,割刀左端点离地面距离为 87 cm,右端点离地面距离为 100 cm,中心位置距离地面 93.5 cm,割刀全长 170 cm;接着控制系统进入割台调平流程,割台的左右滑块移动平均速度为 5 cm/s,割台的左滑块向上移动了 7 cm,割台的右滑块向下移动了 7 cm,割刀中心点与地面的距离为 94 cm,割刀处于与大地平行状态。割台的水平度伺服控制是在下位机上独立完成的。图 8b 是采用本文研制的水平度伺服控制方法进行控制的结果。

试验结果表明,割台的水平度伺服控制精度和

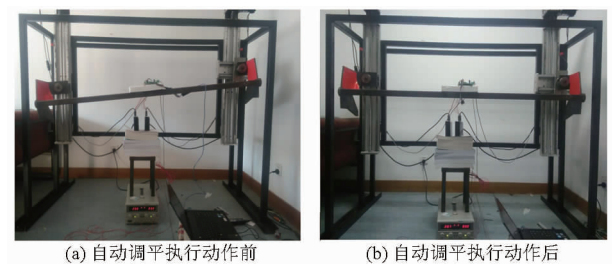


图 8 割刀水平度伺服控制

Fig. 8 Level servo control of cutting knife

响应速度均达到了采茶机最大行走速度情况下的调平设计要求。

由于篇幅限制,本文尚未对采茶机行进过程中颠簸振动对倾斜传感器和视觉传感器的影响进行描述。

5 结论

(1)提出了基于视觉的智能化自动切割式采茶机的设计方案,研制了一种适合我国南方地区的乘用式智能化采茶机。

(2)调节割台高度的位置伺服控制:根据伺服

电动机中的编码器位置信息和已设置的茶树冠高度,同步控制伺服电动机,使得割刀的高度与目标茶树冠高度一致。

(3)调节割台水平度的伺服控制:采用倾斜传感器感知割台的倾斜状态;分别控制驱动割台滑块的伺服电动机,使得割刀的水平度与大地水平保持一致。

(4)基于机器视觉的割台高度伺服控制:对茶陇蓬面的嫩茶部分进行基于机器视觉的准确识别,并控制伺服电动机使得割刀所切割的茶冠的嫩叶部分比例达到70%以上。

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 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.
- 3 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.
- 4 ZHAO D A,LU J D,JI W, et al. Design and control of an apple harvesting robot[J]. Biosystems Engineering,2011,110:112-122.
- 5 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.
- 6 吴雪梅,张富贵,吕敬堂.基于图像颜色信息的茶叶嫩叶识别方法研究[J].茶叶科学,2013,33(6):584-589.
WU Xuemei, Zhang Fugui, LV Jingtang. Research on recognition of tea tender leaf based on image color information[J]. Journal of Tea Science, 2013, 33(6):584-589. (in Chinese)
- 7 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)
- 8 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)
- 9 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 University,2012. (in Chinese)
- 10 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)
- 11 孙晓锋.名优茶智能化采摘中新梢识别及其中心点确定的方法研究[D].南京:南京林业大学,2014.
SUN Xiaofeng. Researches on high-quality tea flushes identification and contering method for intelligent plucking[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2014. (in Chinese)
- 12 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)
- 13 BOUGUET Y J. Camera calibration toolbox for matlab. [EB/OL]. (2013-12-02) [2014-10-21] http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html#parameters.
- 14 汤一平,王伟羊,朱威,等.基于机器视觉的茶陇识别与采茶机导航方法[J].农业机械学报,2016,47(1):45-50.
TANG Yiping, WANG Weiyang, ZHU Wei, et al. Tea ridge identify and navigate method for tea-plucking machine based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1):45-50. (in Chinese)
- 15 吕小莲,吕小荣,卢秉福.基于颜色信息的采摘番茄识别方法[J].计算机工程,2010,36(11):178-179.
LV Xiaolian, LV Xiaorong, LU Bingfu. Identification methods of picking tomatoes based on color information[J]. Computer Engineering, 2010, 36(11):178-179. (in Chinese)
- 16 唐仙,吴雪梅,张富贵,等.基于阈值分割法的茶叶嫩芽识别研究[J].农业装备技术,2013(6):10-14.
TANG Xian, WU Xuemei, ZHANG Fugui, et al. Contrastive research on tender tea recognition based on multiple threshold segmentation methods[J]. Agricultural Equipment & Technology, 2013(6):10-14. (in Chinese)
- 17 杨福增,杨亮亮,田艳娜,等.基于颜色和形状特征的茶叶嫩芽识别方法[J].农业机械学报,2009,40(增刊):119-123.
YANG Fuzeng, YANG Liangliang, TIAN Yanna, et al. Recognition of the tea sprout based on color and shape features[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009; 40(Supp.):119-123. (in Chinese)