

基于主动计算机视觉的茶叶采摘定位技术*

张 浩 陈 勇 汪 巍 张国路

(南京林业大学机械电子工程学院, 南京 210037)

摘要: 为解决名优茶智能采摘的茶叶嫩梢定位问题,提出了一种基于主动视觉的嫩梢定位方法,并据此开发了一套视觉定位系统。针对茶叶采摘工作面特点设计了交叉投影与摄像光路;基于色彩因子法实现了自然环境下茶叶嫩梢的识别;重点研究了利用光栅投影轮廓术实现茶叶嫩梢高度信息获取。光栅投影轮廓术采用时间相位法获取光栅场的相位,并利用判别机制和形态滤波器去除噪声点,以多项式逼近法计算高度克服非线性误差。试验结果表明,基于光栅投影法的茶叶嫩梢定位系统,能够有效识别嫩梢并获取其三维信息,为研究名优茶智能采摘机解决了茶叶嫩梢定位问题。

关键词: 茶叶 采摘定位 主动计算机视觉 光栅投影轮廓术

中图分类号: TP242.6⁺2; S571.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)09-0061-05

引言

茶叶是食品行业中的一个特色产业,茶叶的收获和加工具有很强的季节性,存在劳动强度高、效率低和占用农时长等问题,这些问题制约了茶叶产业的进一步发展。目前,茶叶采摘尤其是早春名优茶采摘仍然以手工为主,手工采茶用工占整个茶叶生产用工的50%,采茶工资占茶叶价格的30%左右^[1]。在采茶成本不断增加和劳动力严重短缺双重压力下,许多茶园面临着弃采甚至撂荒。为了避免茶叶资源的损失,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。

目前,茶园使用的采茶机械主要分为两大类,一类是自走乘坐式采茶机,一类是手提或背负式采茶机(包括单人和双人),这些采茶机的主要区别在于行进方式不同,而其作业方式却基本一致,即采用双刀片往复或旋转切割采摘茶叶。这种作业方式属于面积型操作,虽然切割效率很高,但缺乏对嫩芽的选择,而且严重影响嫩芽的完整度,只适用于大宗茶的采摘。对于名优茶一芽一叶或一芽两叶,甚至只采单芽的要求,根本无法实现^[2-3]。因此,茶园迫切需要能够实现名优茶智能采摘的新型采茶装备。

对于研发智能采茶机,茶叶嫩梢的智能识别与定位是一个主要难点,也是实现智能采摘的前提。

只有定位采摘目标,采摘工作才能进行。对于自然环境下茶叶嫩梢的识别与定位,国内外均未见相关研究报道。本文在前期研究与试验基础上,提出一种基于光栅投影轮廓术的茶叶嫩梢定位系统,该系统能实现茶叶嫩梢的精确定位,且能一次性实现整个工作面的嫩梢定位,工作效率高。

1 三维定位测量系统模型

光栅投影法是近年来迅速发展起来的一种主动式光学测量技术,以其测量精度高、速度快,对环境要求低等优点成为主动式视觉的主要技术^[4]。该技术以交叉光轴投影系统为基础,将周期调制的光栅场投射在被测物体的表面,由CCD获取变形的光栅条纹图像,再由条纹图像解调出相位信息。根据测量系统的光路结构找出相位偏移量与表面高度的关系,即可解出物点的三维坐标^[5-9]。

与其它结构光方法不同,光栅投影法投影的是一个在空间中呈现周期分布的光栅场,在测量中以相位来描述光栅场的空间分布,并在条纹图像中求出相位来得到点的三维坐标。由于相位在空间中是连续分布的,所以光栅投影法可以通过一次投影直接测量整个幅面,这是相位方法的一个突出优点^[10]。

基于光栅投影轮廓术的方案,设计了采茶机嫩梢定位系统,系统结构如图1所示。该系统主要由摄像机CCD(Manta G-125 B/C型)1台,投影仪

收稿日期: 2013-09-28 修回日期: 2013-12-03

* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B07)

作者简介: 张浩,副教授,博士,主要从事光学三维测量理论与方法、表面计量学研究, E-mail: zhanghaowo79@163.com

(三菱 GW-575 型)1 台,计算机 1 台以及垂直参考面组成。其中,CCD 与投影装置呈三角关系,即 CCD 和投影光心的连线平行于参考面,CCD 光轴垂直于参考面,且光轴与投影轴相交于参考面。CCD 光心到投影光心的距离 d 取为 45 cm,CCD 光心到参考面距离 l_0 设为 110 cm。整个系统的工作可分为两步:①茶叶嫩梢的识别,确定茶叶嫩梢的存在并给出水平坐标。② 利用光栅投影法测量嫩梢相对于参考面的实际高度^[11]。

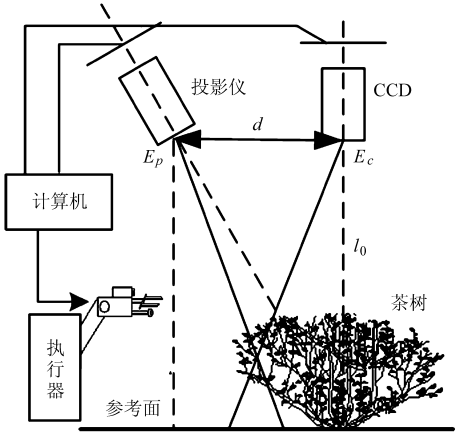


图 1 茶叶嫩梢定位系统结构图
Fig. 1 Tea tips positioning system

2 茶叶嫩梢的识别

茶叶嫩梢的识别,主要依赖于图像处理。早春时节,茶叶嫩梢与背景(土壤、老叶和茎等)颜色具有较大差异,十分有利于嫩梢与背景的图像分割。文献[2,12]分别在 RGB、YIQ、Lab、HIS 以及 YCrCb 空间,选择 $R-B$ 、 I 、 b 、 S 和 Cb 因子对图像进行灰度化,均能得到较好的结果。针对灰度化结果采用 Otsu 法进行图像阈值分割,运用面积滤波、腐蚀膨胀的方法去除噪声,得到嫩芽的二值图像。采用质心法求取嫩梢的中心位置,最终实现茶叶嫩梢的自动识别,并提供水平方向坐标。

图 2 为江苏金坛某茶园早春茶叶茶蓬图,由图 1 中 CCD 拍摄。经过上述步骤处理后得到茶叶嫩梢的二值图像,并用质心法确定嫩梢的中心位置,其结果如图 3 所示。比较图 2 和图 3 可以看出,嫩梢与质心点一一对应,主要的嫩梢点均被识别出来,基本达到自动识别目的。存在的问题是某些嫩梢,由于叉枝旁叶的影响,出现多个质心点,这些重复点会导致执行机构存在空采现象,不过空采操作对茶叶采摘质量并无实质影响。

3 光栅投影高度测量

在确定茶叶嫩梢水平位置后,对采摘机械手的

控制还需要高度坐标。茶叶种植有其自身的特点,目前的茶叶种植方式,多数为单行条摘,采摘面通常修剪成平面或弧形。这样的种植方式,十分有助于机械化采茶。也正是针对这一特点,提出将光栅投影轮廓术应用于茶叶嫩梢定位,测量其实际高度。



图 2 早春茶叶
Fig. 2 Tea in early spring

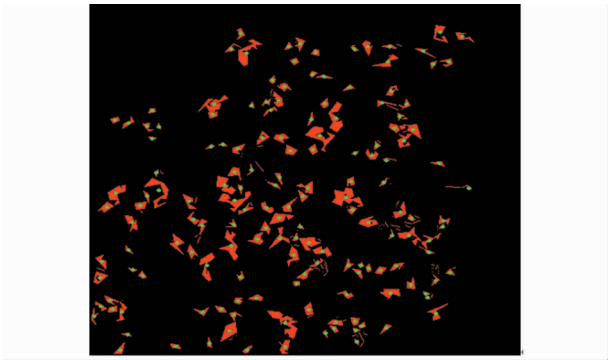


图 3 茶叶嫩梢中心点
Fig. 3 Central points of tea tips

3.1 相位获取

传统的光栅投影轮廓术通常采用四步相移法提取相位场的分布。其实现过程可以概括为 2 步,第 1 步是通过相移法投射 4 幅条纹图,并计算每点的相位场主值

$$\phi^w(x,y) = \arctan \left(\frac{I_3 - I_1}{I_0 - I_2} \right) \tag{1}$$

式中 I_i ——相移灰度图($i=0,1,2,3$)
第 2 步是将主值相位场展开为全场完整的绝对相位,称为解相位^[13]。

必须指出的是,式(1)得到的相位场主值是锯齿形的截断相位,值域位于 $[-\pi,\pi]$ 区间。在相位展开过程中,一般是判断相邻点的截断相位值,在原有相位主值上加减 2π 。但在实际过程中,由于噪声点、间断点和阴影等因素的影响,很难准确地判断截断点,因此极易发生误差扩散并造成解相位失败。为解决这一问题,很多算法如洪水算法、最小二乘法等解相位算法被提出,但这些方法都只能解决部分问题,不能完全避免“拉线”现象的产生。

为此,本系统实际采用了更为复杂的算法,即时间相位轮廓术。系统设计分多次投射4种不同波长的光栅条纹,条纹数 m_k 分别取1、4、16、64。其中,每种条纹的相位场主值 ϕ_k^w 仍沿用四步相移法计算获取,但其解相位过程为

$$\phi_k^u = \begin{cases} \phi_k^w & (k=1) \\ \phi_k^w + 2\pi \text{Round}\left(\frac{\phi_{k-1}^u m_k / m_{k-1} - \phi_k^w}{2\pi}\right) & (k>1) \end{cases} \quad (2)$$

式中 $\text{Round}(\)$ ——四舍五入取整函数

在时间相位轮廓术中,通过投射不同波长的条纹图到被测对象,可以得到一个形面调制的条纹图序列,于是每个相位点沿着时间轴独立进行相位展开^[14]。相比于传统四步相移空间相位展开方法,时间相位展开方法并不在二维相位场中寻找展开路径,可以有效避免解相错误点引起的误差扩散。图4给出了时间相位展开的具体实例,图4a~4d为各波长条纹的相位场主值,借助式(2)进行相位展开,最终得到绝对相位图4e。值得注意的是,在图4a~4d中都不同程度地存在突变点,但如图4e所示,这些突变点并没有影响其它正常点的相位展开,也因此证明了时间相位轮廓术的稳健性能。

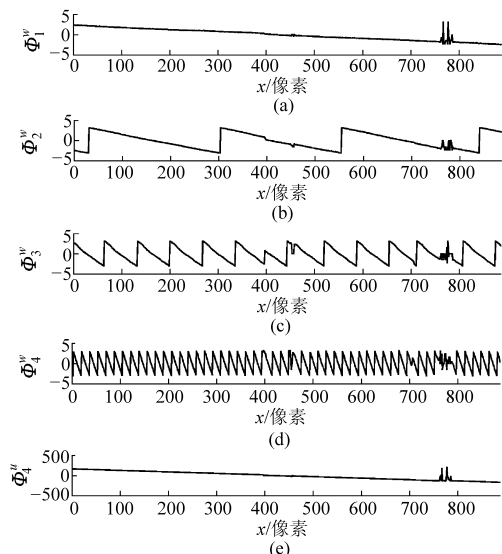


图4 时间相位展开过程

Fig.4 Temporal phase unwrapping

如将光栅投射到参考面上,求出参考面的绝对相位 $\phi^r(x,y)$ 作为参考相位,则点 (x,y) 在参考面和物点的相位差为

$$\Delta\phi(x,y) = \phi^u(x,y) - \phi^r(x,y) \quad (3)$$

物点的高度信息就包含在对应的相位差值中。

3.2 噪声抑制

如前所述,时间相位展开法能够有效抑制误差扩散,但该方法不能避免个别解相错误点的出现,尤其是处理一些形面发生剧烈变化的物体时,在其高度突变、不连续的部分,会出现较多解相错误点,并表现为高点噪声,严重影响投影结果。

对于这种情况,除了采用一些传统除噪手段如判断相邻点相位关系、面积滤波等方法外,系统还采用了以下方法:

(1) 基于调制度 M 设立可靠点判断机制,设定阈值,调制度小于阈值的像素点即可认为无效点,该点高度结果可直接置0。各像素点调制度计算对象为64周期条纹图,因为频率越高的光栅图,噪声影响越大。试验表明, M 阈值提高,噪声点数量会明显减少,但阈值设置过高,整个形面的形状也会被侵蚀,尤其是物体边缘很难保持完整。本系统最终采用 M 阈值为2。

$$M = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\sum_{i=0}^3 I_i \sin \frac{2\pi i}{4}\right)^2 + \left(\sum_{i=0}^3 I_i \cos \frac{2\pi i}{4}\right)^2} \quad (4)$$

(2) 引入形态滤波器对主值相位场滤波,去除顽固噪声点。针对上述(1)的结果,系统采用了先腐蚀后膨胀算法(即开运算)进行处理,开运算可以将图像中小于结构元素的孤岛和尖峰去除。此处,结构元素的选择影响很大,结构元素过小滤波作用不明显,过大则有可能会破坏原始图像。通过试验比对,系统最终选定了半径为3的“Disk”作为结构元素。

系统以皮球、纸盒模型和小玩偶等不连续物体作为测试对象,采用时间相位轮廓术进行投影测量。如图5所示,可以看出在物体的边缘突变处出现了大量的噪声,这些高点噪声使得被测物体的真实边缘被掩盖,在极端情况下可能会导致测量失败。采用所述(1)和(2)的噪声抑制方法对图5进行处理,处理结果如图6所示,可以看出所有物体的形状及边缘都被完整展现出来,高点噪声被有效消除。

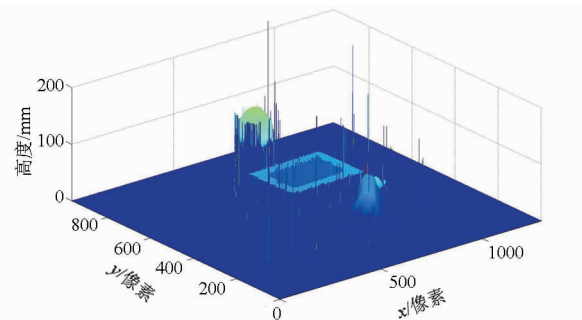


图5 不连续物体投影结果

Fig.5 Results of the discontinuous objects by fringe projection

3.3 嫩梢高度的获取

经典的光栅投影高度计算方法是根据图1中的

相似三角形关系和相位-坐标关系,由物点相位场导出物点高度,公式为

$$h(x,y)=\frac{l_0\Delta\phi(x,y)}{\Delta\phi(x,y)+\frac{2\pi d}{\lambda_0}}\tag{5}$$

式中 λ_0 ——64 条纹光栅节距(实为 8.3 mm)
但在实际测量系统中,被测物体表面高度越高,测量点和参考面之间的距离越大,离焦现象越明显。此外,测量系统中使用的投影系统和成像系统不可避免地存在像差和畸变,所以使用式(5)计算所得高度必然有较大误差^[15]。本系统采用奇次多项式逼近法来处理相位和高度之间的非线性函数关系,即

$$\frac{1}{h(x,y)}=a+b\frac{1}{\Delta\phi(x,y)}+c\left(\frac{1}{\Delta\phi(x,y)}\right)^3\tag{6}$$

其中, a 、 b 和 c 是系统参数,由系统标定得到。需要说明的是,对于不同的像素点,相应的系统参数是不同的,但在本系统中, a 、 b 和 c 取的是平均值,而大量的试验结果表明式(6)的计算结果完全能够满足采茶机需要。

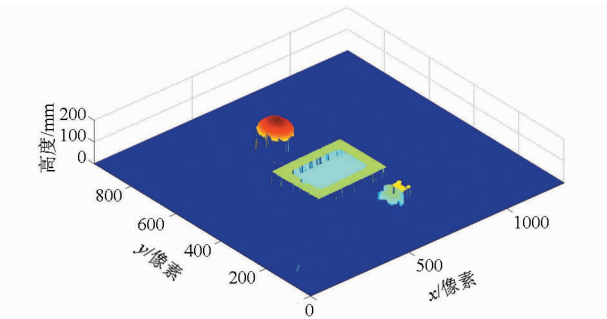


图 6 噪声处理结果

Fig. 6 Three-dimension result using the proposed noise reduction method

4 试验

对于一个新型测量系统,证明其稳定性和测量精度是必要的。为此,进行了大量相关试验验证。

首先,模仿自然环境下的茶叶植株,使用人工景观草皮作为测量对象,其主要特点是叶冠蓬面不连续,叶片相互独立,而且叶片之间有较大的高度落差。如图 7 所示,将光栅条纹漫射其上,CCD 获取图像,由式(6)计算其高度,得到图 8 所示三维形貌图像。由图 8 可以看出其三维形貌十分完整,错落有致,完全能够再现人工草皮的实物形状。由此证明新型视觉定位系统能够实现茶树采摘面三维形貌的描绘。

为了验证此系统高度测量的精度,在人工草皮上定点植入了一些已知高度点,如图 9 所示,其投影后的三维形貌如图 10 所示。10 个目标点的实际高

度与测量高度结果如表 1 所示。可以看出各点最大误差 1 mm,而采茶机执行器高度精度要求 3 mm,新型视觉定位系统完全能够满足茶叶采摘的精度要求。

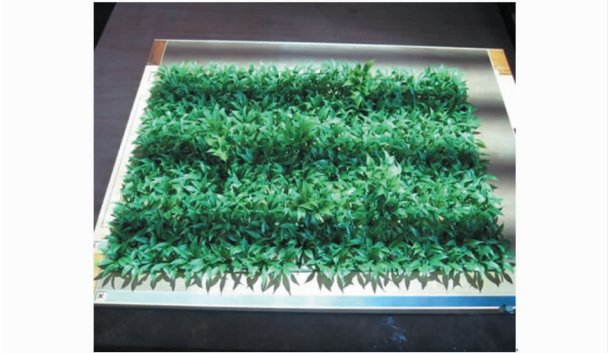


图 7 人工草皮
Fig. 7 Artificial grass

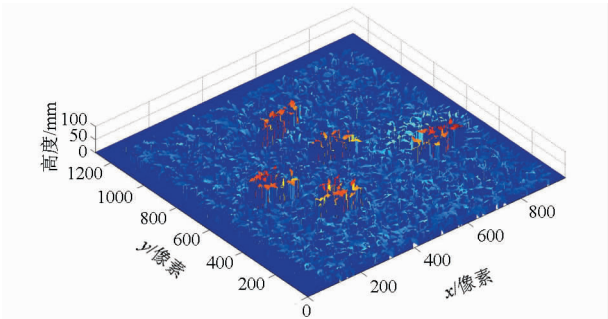


图 8 人工草皮三维轮廓
Fig. 8 Three-dimension contour of the artificial grass

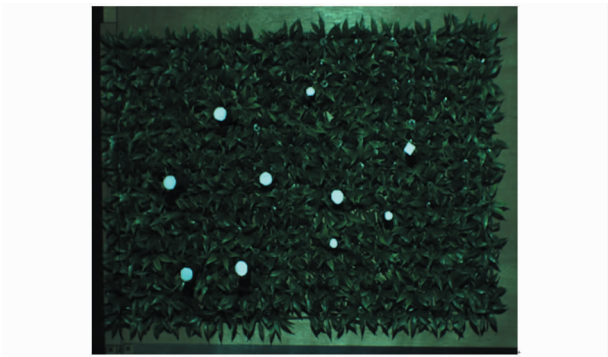


图 9 高度目标点
Fig. 9 Altitude target

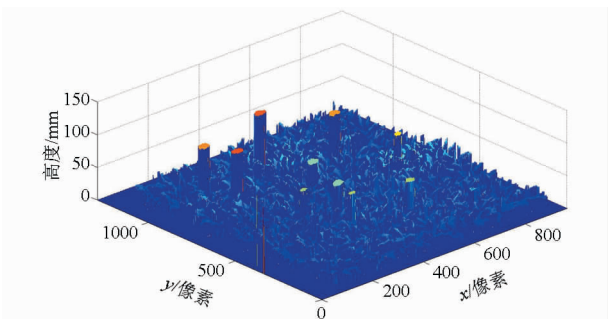


图 10 高度目标点三维轮廓
Fig. 10 Three-dimension contour of the altitude target

表 1 目标点高度测量结果
Tab.1 Target height measurement

目标	1	2	3	4	5	6	7	8	9	710
实际高度	79.0	89.0	53.0	57.0	47.0	88.0	47.0	57.0	8.0	69.0
测量高度	79.9	89.2	53.7	57.5	47.9	88.3	47.2	57.8	78.6	70.0

目前,本视觉系统已经在“茶园作业机器人”项目中应用,并在茶园进行了采摘试验,如图 11 所示。试验效果良好,基本能够实现嫩梢自动采摘。当然,该采茶机仍然存在着不足,如速度不高、存在重复采摘等问题。前者的解决需要硬件改造,包括提升光栅投影速度和机械手执行速度;重复采摘主要是由嫩芽误识别引起,识别算法的研究仍需深化。但可以肯定的是,主动视觉技术在茶园作业采摘装备上的应用是成功的,该技术在农业方向应用前景广阔。



图 11 茶园采摘试验

Fig.11 Harvesting experiments in a tea garden

5 结论

(1)针对智能采茶装备研发中茶叶嫩梢识别定位的问题,提出了一种基于主动视觉的解决方案,并据此开发了一套视觉定位系统。该系统采用了新型交叉投影与摄像光路。一方面,基于色彩因子法完成茶叶嫩梢的识别;另一方面,采用光栅投影轮廓术获取茶叶嫩梢高度。

(2)茶叶嫩梢定位系统采用光栅投影轮廓术,其主要优点是一次投影可以实现整个幅面的测量,即可以一次测量整个茶蓬的高度,速度快且精度高。与双目视觉相比,光栅投影法通过解相位实现三维测量,对环境要求低,受光照角度、反射率和照度的影响较小,测量更稳定,因此更能适应茶园实地采摘需要。

(3)试验结果表明,基于三维光栅投影技术的嫩梢定位系统能够准确稳定地实现茶叶嫩梢的定位,应用前景广阔。

参 考 文 献

1 张兰兰,王家伦,胡华健,等. 贵州湄潭茶区茶叶机械采摘的技术应用[J]. 西南农业学报, 2011, 24(5):1948 – 1951.

2 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.

3 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.

4 盖绍彦,达飞鹏. 基于数字投影仪的光栅相位自校正方法[J]. 自动化学报, 2008, 34(11):1363 – 1368.

Gai Shaoyan, Da Feipeng. A new phase alignment method for digital projector in phase measuring profilometry[J]. Acta Automatic Sinica, 2008, 34(11):1363 – 1368. (in Chinese)

5 Su Xianyu, Chen Wenjing. Fourier transform profilometry: a review[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2001, 35(5):263 – 284.

6 Song Zhang, Shing-Tung Yau. Generic nonsinusoidal phase error correction for three-dimensional shape measurement using a digital video projector[J]. Applied Optics, 2007, 46(1):36 – 42.

7 Gorthi S S, Rostogi P. Fringe projection techniques: Whither we are? [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2010, 48(2):133 – 140.

8 Wang Zhaoyang, Dung A, John C. Some practical considerations in fringe projection profilometry[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2010, 48(2):218 – 225.

9 Ma S, Quan C, Zhu R, et al. Investigation of phase error correction for digital sinusoidal phase-shifting fringe projection profilometry[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2012, 50(8):1107 – 1118.

10 达飞鹏,盖绍彦. 光栅投影三维精密测量[M]. 北京:科学出版社, 2011:9 – 21.

11 Lei Huang, Anand Krishna Asundi. Phase invalidity identification framework with the temporal phase unwrapping method[J]. Measurement Science & Technology, 2011, 22(3):1 – 5.

12 Jin Xiaojun, Chen Yong, Zhang Hao. High-quality tea tips detection under natural conditions using computer vision[J]. International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 2012, 6(18):600 – 606.

13 Gai Shaoyan, Da Feipeng. A novel fringe adaptation method for digital projector[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2011, 49(4):547 – 552.

14 Huntley J M, Saldner H. Temporal phase-unwrapping algorithm for automated interferogram analysis[J]. Applied Optics, 1993, 32(17):3047 – 3052.

15 Su X Y, Song W Z, Cao Y P. Phase-height mapping and coordinate calibration simultaneously in phase-measuring profilometry [J]. Optical Engineering, 2004, 43(3):708 – 712.

Parallel and Fast Reconstruction Algorithm for Compressed Sensing Apple Image

Dai Yuan^{1,2} He Dongjian¹ Yang Long²

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. College of Information Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: With the emerging of compressed sensing (CS), it is possible to overcome the storage and transmission difficulty of the mass data sampled by traditional methods. It also provides a new way for machine vision applied to apple image sampling. However, the major shortcoming of the reconstruction algorithms for CS signals is the expensive computing time, which limits its applications to the occasions requiring fast processing. Aiming at this problem, two dimensional orthogonal matching pursuit algorithm with parallel computing is proposed for apple image reconstruction. The parallelism of the algorithm is analyzed and the parallel algorithm using CUDA technology on GPU is designed in order to achieve a fast reconstruction algorithm. Experimental results show that the parallel algorithm improves the recovery efficiency by 16 to 35 times and the apple image can be recovered in several seconds. This method provides a new technical support to remote monitoring in real time for apple garden. It can be used in the fast apple quality detection based on image as well.

Key words: Apple Image reconstruction Compressed sensing Two dimensional orthogonal matching pursuit Parallel computing



(上接第 65 页)

Positioning Method for Tea Picking Using Active Computer Vision

Zhang Hao Chen Yong Wang Wei Zhang Guolu

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: For the intelligent tea picking machine, the positioning of tea tips was a difficult procedure. A positioning method based on active computer vision and corresponding visual system were proposed to solve this problem. First, according to the characteristics of the tea picking surface, a cross light path of projection and camera was designed; then the recognition approach of tea tips based on the color factor was developed in natural environment; furthermore, fringe projection profilometry was studied to acquire the height information of tea tips. In fringe projection profilometry, the temporal phase unwrapping method was used to obtain the phase maps, the invalidity identification framework and morphological filter were designed to remove noise points, and a polynomial approximation method which can reduce the nonlinear error was applied to calculate the height. The experimental results show that the positioning system for tea tips based on fringe projection technology can effectively recognize the tips and extract their three-dimensional information, which can help new tea picking machine to realize the positioning function.

Key words: Tea Positioning method Active computer vision Fringe projection profilometry