

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.12.039

基于特征尺寸及局部极值点的茶鲜叶方向识别^{*}

何雪军¹ 王进¹ 陆国栋¹ 唐小林²

(1. 浙江大学流体动力与机电系统国家重点实验室, 杭州 310027; 2. 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究所, 杭州 310016)

摘要: 对粗大茶鲜叶实行梗叶分离, 有利于提高成品茶品质, 降低能源消耗。梗叶分离的关键在于茶梗与叶柄的识别。通过倾斜滑槽限定茶鲜叶的方位, 将其转换为两方向判别问题。首先将茶鲜叶划分为长梗和短梗, 对长梗茶鲜叶, 提出基于特征尺寸的识别方法, 特征尺寸大的一方判为叶尖; 对短梗茶鲜叶, 提出基于轮廓线局部极值点的识别方法, 局部极值点多的一方判为叶尖。通过对 168 幅随机获取的图像及 1 幅背景图像的处理表明, 茶鲜叶的方向识别率达 93.3%。每根茶鲜叶的平均处理时间为 17.8 ms, 能满足实时处理的要求。

关键词: 茶鲜叶 特征尺寸 局部极值点 方向识别

中图分类号: TP391.41; S571.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)12-0233-06

Recognition of Fresh Tea Direction Based on Feature Size and Local Extreme Points

He Xuejun¹ Wang Jin¹ Lu Guodong¹ Tang Xiaolin²

(1. State Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

2. Hangzhou Tea Research Institute, China Co-op, Hangzhou 310016, China)

Abstract: Fresh tea leaf and stem separation for coarse tea not only improves the quality of finished tea, but also reduces heat energy consumption. To realize the separation, the key issue is the recognition of tea stems and petioles. Tilted chute was used to constrain the direction of fresh tea. Then, the problem was transformed into determining whether the tea sprout was facing up or down. At first, according to the stem end length, fresh tea was classified into two categories: for those with long stem ends, an algorithm based on the feature size was proposed, and the side with longer feature size was recognized as tea sprout. For those with short stem ends, the "local extreme points of fresh tea contour" was utilized, and the side with more local extreme points was recognized as tea sprout. Then, 168 randomly obtained images and a background image was used to validate the algorithm, and a recognition rate of 93.3% was reached. The average time to recognize the direction of a single fresh tea was 17.8 ms which fulfilled the requirements of real-time processing.

Key words: Fresh tea leaf Feature size Local extreme point Direction recognition

引言

随着社会节奏的加快, 茶叶的采收、加工也步入了快速发展期。截至目前, 机械采茶已得到相当程度的普及, 茶叶加工流水线也不断推广, 并逐渐向清

洁化、自动化、智能化方向发展^[1-2]。

由于不具备选择性, 机采茶鲜叶长短不一、老嫩不同, 以此为原料制得的茶叶往往比同期的人工茶低一个水平。为提高机采茶品质, 原则上需分级付制; 其中, 较低等级的茶鲜叶需进行梗叶分离。梗叶

收稿日期: 2012-11-30 修回日期: 2012-12-21

* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD01B03-4)

作者简介: 何雪军, 博士生, 主要从事茶叶机械自动化及图像处理研究, E-mail: hexuejun@zju.edu.cn

通讯作者: 王进, 副教授, 主要从事机械设计及理论和 CAD/CG 研究, E-mail: dwjcom@zju.edu.cn

分离包括去梗和集叶两方面。去梗能显著提高成品茶品质,减少加工过程中的热能消耗;叶片收集则是乌龙茶、六安瓜片等茶类制作中的首要工序。

对茶叶嫩芽及干茶形状的认识,已有相关研究。就茶叶的选择性采摘问题,杨福增等研究了基于颜色和形状特征的茶叶嫩芽识别方法^[3];为监测茶叶嫩芽的生长状态和成熟度,汪建研究了基于颜色和区域生长的茶叶嫩芽分割算法^[4];陆江锋等根据成品茶的形状特征,建立了茶叶品种的BP神经网络预测模型,正确率达80%^[5]。

本文的研究对象为粗大茶鲜叶,其嫩芽和叶片的颜色差异不大,且植物颜色易受温度、湿度、土壤水分等因素的影响,以之作为识别依据不够可靠。因此,在植物种类的识别中,普遍使用叶片的形状特征^[6-8]。但此类研究需构建专门的数据库^[9],且识别对象多为单叶片,容易通过偏心率、质心到轮廓的距离曲线等从库中检索出匹配的植物种类。而茶鲜叶含有多个叶片,其形态较为复杂,常规的相似性算法、聚类方法、人工神经网络等难以应用,需作进一步研究。本文旨在通过计算机视觉提高梗叶分离的效率。

1 茶鲜叶方向识别视觉检测系统设计

1.1 梗叶分离原理

梗叶分离方法如图1所示。茶鲜叶从倾斜滑槽滑下,到达末端的锥形缩口后停止,随后机械手夹住茶叶梗部,并绕O点沿逆时针转至水平位置,茶鲜叶在V形导向板的作用下进入定刀片的刃口,然后动刀片下移,两个半圆形剪切刃闭合,围住茶梗,当定、动刀片及导向板向左运动时,可将叶片从叶柄部位挤切下来(芽头另行处理)。可见,要实现梗叶分离,需事先对茶鲜叶进行排序,使茶梗一致朝下,这就涉及茶鲜叶的方向识别问题。

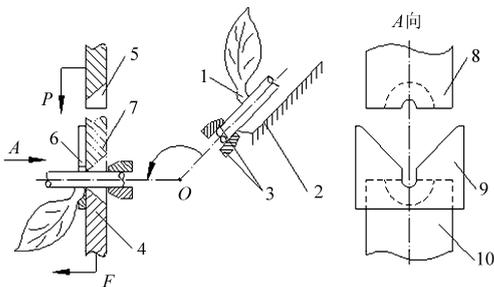


图1 梗叶分离原理图

Fig.1 Schematic of fresh tea leaf and stalk separation

1. 茶鲜叶 2. 倾斜滑槽 3. 机械手 4,10. 定刀片 5,7,8. 动刀片 6,9. 导向板

1.2 实验方法

实验装置如图2所示,主要包括倾斜滑槽和移

动支架。倾斜滑槽由两段长300 mm、外径50 mm的白色PVC塑料管沿轴线剖分后构成。其倾角可通过连杆长度调节。移动支架用于调整摄像头与倾斜滑槽的相对位置,以获得合适的视场。

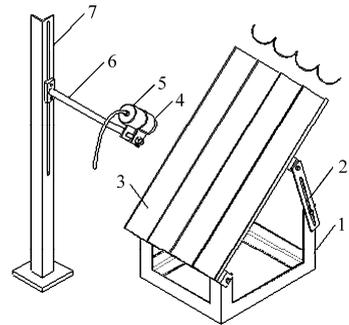


图2 茶鲜叶方向识别装置简图

Fig.2 Experimental device for fresh tea direction recognition

1. 支架 2. 倾角调整杆 3. 倾斜滑槽 4. 夹持环 5. 摄像头
6. 支撑杆 7. 移动支架

倾斜滑槽的截面尺寸使落入其中的茶鲜叶只有两种朝向,算法只需判断叶尖朝上还是朝下。实验中发现,倾斜滑槽的颜色对图像处理有一定影响,当背景为深色调时,内圆柱面会形成高亮的反光带,影响目标轮廓的提取。

实验所用摄像头的帧率为30帧/s,由于茶叶下滑迅速,所拍图像变形并含有拖影,如图3所示,这给图像的分割及后续识别造成了困难。解决的方法,一是使用高速摄像机,二是控制茶叶的滑动,使之在滑槽上作短暂停留(静止),待完成识别后,再用压缩空气吹走。前者一方面使成本大幅增加,另一方面,数据量的剧增也给实时处理带来了困难;后者只需增加相应的机械结构及控制措施即可,因此采用第2种方法。

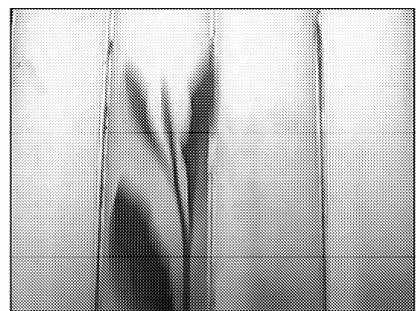


图3 动态图像中的拖影

Fig.3 Trailings in dynamic image

前期实验还表明,背影光源设置不当,会使图像的边缘产生阴影,且这些阴影的色调与叶片接近,阈值处理后成为叶片的一部分,从而影响了正确识别。本文中的光源设在滑槽两端,且离槽体足够远,亦可用夜间日光灯。

2 带梗茶鲜叶的形态特征

通过大量观察发现,茶鲜叶的总体形态特征是一致的,即叶片从中间的主干长出,并向斜上方伸展。但若论及细部特征,则没有两根茶鲜叶是完全相同的。图 4 列出了几种典型的茶鲜叶,根据长度尺寸、空间姿态、梗部尺寸等特征参数的不同,对它们进行了简单归类,如表 1 所示。从中可以看出,茶鲜叶的形态较为复杂。

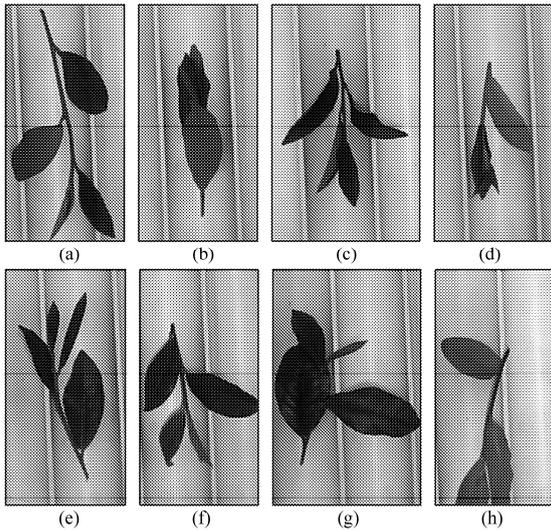


图 4 茶鲜叶的典型形态

Fig. 4 Typical morphology of fresh tea leaves

- (a) 鲜叶 1 (b) 鲜叶 2 (c) 鲜叶 3 (d) 鲜叶 4
(e) 鲜叶 5 (f) 鲜叶 6 (g) 鲜叶 7 (h) 鲜叶 8

表 1 茶鲜叶的形态特征

Tab. 1 Morphological characteristics of fresh tea

长度尺寸	空间姿态	梗部尺寸	叶柄间距	特殊情况	
				几何	颜色
狭长 (鲜叶 1、5、8)	展开 (鲜叶 1、6)	长 (鲜叶 1、2、5、7)	大 (鲜叶 1)	叶片横伸 或下垂,	深绿 (叶片正面)
短小 (鲜叶 3、4、7)	重叠 (鲜叶 2、4、7)	短 (鲜叶 3、4、6、8)	小 (鲜叶 3、7)	存在阴影 等	浅绿 (叶片背面)

3 茶鲜叶方向识别方法

3.1 茶鲜叶外形轮廓线的提取

实时图像处理的第一步是去除背景,获取目标图像,常用的方法有减背景法和帧间差分法^[10-13]。前者要求背景基本不变,后者要求目标的移动速度缓慢。本文的背景为倾斜槽槽,其背景固定,因此采用减背景法。处理时,首先将当前帧减去背景帧,以去除背景,然后将图像转为灰度图,利用阈值化方法(如 Otsu 法^[14])提取前景目标,再进行腐蚀处理,去除孤立点,然后进行膨胀操作,将可能断开的叶片连

成一体。之后,采用八邻域法在图像上搜索茶叶的外形轮廓,忽略点数少、长而窄的轮廓线,仅标记较大轮廓线,如图 5 所示。

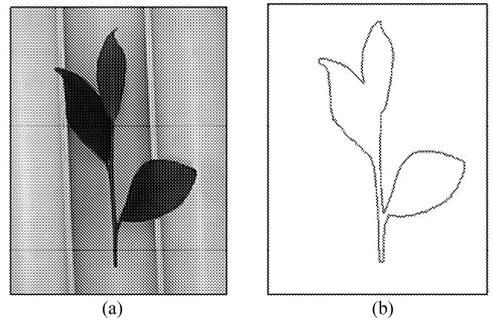


图 5 茶鲜叶的外形轮廓

Fig. 5 Contour of fresh tea

- (a) 茶鲜叶原图 (b) 茶鲜叶的外形轮廓

3.2 基于特征尺寸的茶鲜叶方向识别

茶叶的外轮廓线是一条封闭曲线,通过观察发现,茶叶梗部的直径基本不变,而叶片尖端的宽度从外向内有增大的趋势,直到大于梗部直径。利用这一特点,建立如下识别方法:

首先确定茶叶轮廓的矩形包围盒,求得最高点 $A(x_1, y_1)$ 和最低点 $B(x_2, y_2)$ 。A、B 两点中的一点为叶尖端,另一点为梗端点。

分别以 A、B 为圆心, r 为半径作圆 O_A 、 O_B 。在 A 点下半圆周线附近 $r \pm \Delta r$ 的区域内搜索 O_A 与轮廓线的交点,求出最左交点 A_1 及最右交点 A_2 ; 同理,在 B 点上半圆周线附近 $r \pm \Delta r$ 的区域内搜索 O_B 与轮廓线的交点,求出最左交点 B_1 及最右交点 B_2 , 如图 6 所示。

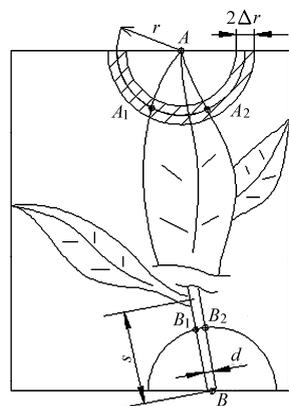


图 6 特征尺寸计算图

Fig. 6 Calculation diagram for feature size

当 $D^2(A_1, A_2) > D^2(B_1, B_2)$ 时,判定 A 为叶尖端,即叶尖朝上;否则,判定叶尖朝下。其中, $D(A_1, A_2)$ 和 $D(B_1, B_2)$ 称为特征尺寸,分别表示 A_1 与 A_2 、 B_1 与 B_2 之间的欧氏距离。

应当指出,这里的 r 值是不能随意选取的,它需要满足 $d < r < s$ 。其中, d 为茶梗末端直径, s 为茶梗

末端与第一叶柄的距离,如图6所示。

r 值的选取应尽可能靠近 s ; 但当 $r > s$ 时, 梗部 r 圆开始与叶片相交, 使左、右交点之间的距离迅速增大而使算法失效。这里的 s 值由机采叶的统计数据确定。此外, r 值的大小还与摄像头到被测对象的距离有关, 但相对位置调整好后可视为定值。

上述方法对长梗茶鲜叶 (s 值较大) 的识别率较高, 如图 7a 所示, 而对于短梗茶鲜叶, 则往往得出错误的结论, 如图 7b 所示。图 4 中鲜叶 3、4、6、8 就容易出现这样的问题。

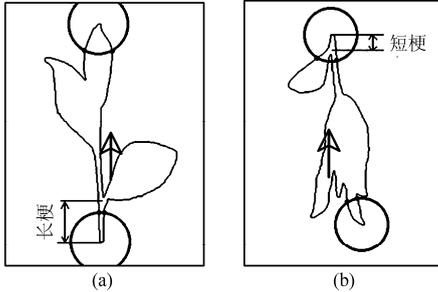


图7 特征尺寸法的适用性

Fig. 7 Applicability of feature size method

(a) 长梗识别正确 (b) 短梗识别错误

3.3 基于局部极值点的茶鲜叶方向识别

为解决 s 值较小而产生的误判问题, 一种方法是对每条轮廓线均动态计算一个 s 值。但该方法具有一定的局限性, 当 s 值很小时, 由于 $d < r < s$, r 值也需要减小, 叶尖处求得的两交点间距也必然很小, 当小于 d 时就会发生误判。其次, 为求解动态的 s 值, 需计算第一叶柄所在位置, 鉴于茶鲜叶方向未知, 计算应在两端同时展开, 计算工作量较大。另一种方法是采用角点检测。作为图像的局部特征, 角点能粗略反映物体的形状, 尤其是一些规则多边形。这里主要基于一个统计规律: 叶尖比梗部复杂, 角点数量更多。

角点检测的方法很多, 其中 Harris 角点检测较为常用, 其基本方法为^[15-16]: 在图像中设计一个局部窗口, 计算窗口在各个方向上的能量, 当能量大于某一阈值时, 就认为该窗口的中心是一个角点。为方便计算, Harris 提出了简化后的角响应公式。

实验中发现, 这种方法的计算量较大, 且检测出的角点不够理想, 部分角点出现在非预期位置, 而一些位于叶尖的重要角点反而检测不到, 如图 8a 所示, 角点用圆圈标出。

为此, 本文用局部极值点代替角点, 这些点主要出现在轮廓线的转折处, 与角点类似。其检测方法如下:

在轮廓线上搜索合适的点 $P(i)$, 构成集合 S , 使得

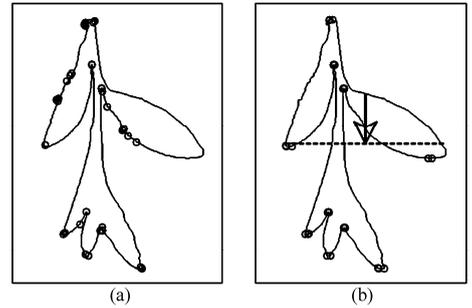


图8 Harris角点与局部极值点

Fig. 8 Harris corners and local extreme points

(a) Harris角点 (b) 局部极值点

$$(Y_{P(i)} - Y_{P(i-k)}) (Y_{P(i)} - Y_{P(i+k)}) > 0 \quad (1)$$

式中, $Y_{P(i)}$ 为轮廓线上第 i 点的纵坐标, $k=2$ 或 3 。当式(1)中的两个因子均为正数时, $P(i)$ 代表了局部极大点, 如图 9 中的圆圈; 反之, 当两个因子均为负数时, $P(i)$ 代表局部极小点, 如图 9 中的方块。

其次, 将轮廓线的矩形包围盒均分为上、下两部分(图 9), 统计落入其中的局部极值点数量, 分别记为 N_{up} 和 N_{down} , 当 $N_{up} > N_{down}$ 时, 判定叶尖朝上; 否则认为叶尖朝下。

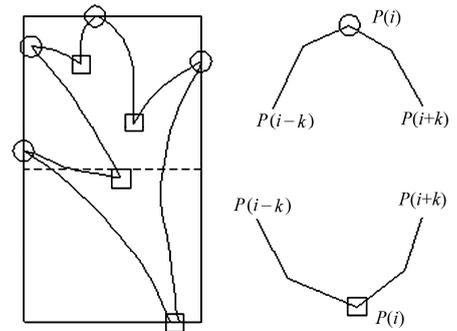


图9 局部极值点的搜索

Fig. 9 Search for local extreme points

据此, 图 8b 给出了正确的识别结果。若采用 Harris 角点检测, 由于轮廓线上部分角点数较多, 会将上侧误判为叶尖, 如图 8a 所示。

4 算法流程

通过以上分析, 确定本文的算法流程如图 10 所示。图中, r 、 C 的数值均以像素为单位。 C 值为茶梗直径的若干倍, 根据 $l_{A_1A_2}$ 、 $l_{B_1B_2}$ 与 C 的大小关系, 分两类进行处理: 当 $l_{A_1A_2} < C$ 且 $l_{B_1B_2} < C$ 时(即长梗), 采用特征尺寸法进行识别; 反之, 采用局部极值点进行识别。算法中还考虑到了—幅图像中含多根茶鲜叶的情况。

5 识别结果

借助实验装置, 随机拍摄了 168 幅图像及 1 幅背景图像, 对其中的 253 根茶鲜叶进行了识别, 其结

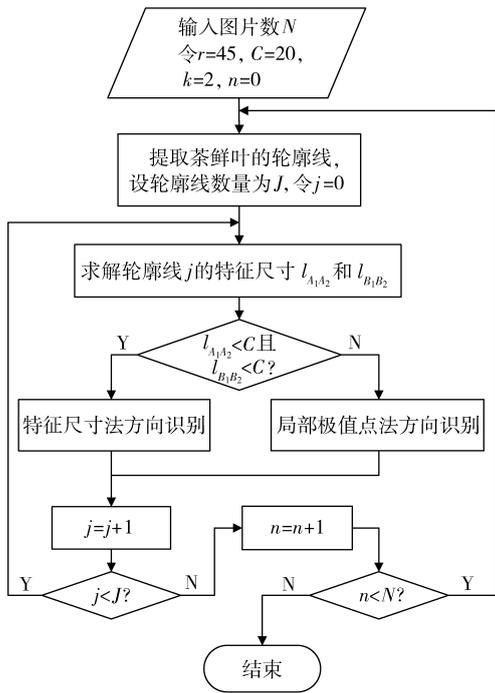


图 10 算法流程图

Fig. 10 Algorithm flowchart

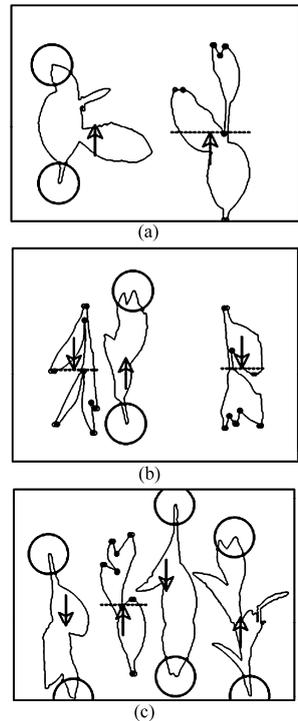


图 11 识别实例

Fig. 11 Examples of recognition

(a) 识别结果 1 (b) 识别结果 2 (c) 识别结果 3

果如表 2 所示。从表 2 可知,有 172 根茶鲜叶被视为长梗进行处理,其中有 7 根识别错误,正确率为 95.9%;其余 81 根茶鲜叶被作为短梗处理,其中有 10 根识别错误,正确率为 87.7%。两种处理方法的总体识别率为 93.3%。

表 2 茶鲜叶方向识别结果

Tab. 2 Recognition results of fresh tea direction

识别方法	茶叶数	误判数	正确率/%
特征尺寸法	172(长梗)	7	95.9
角点检测法	81(短梗)	10	87.7
合计	253	17	93.3

图 11 为部分识别实例,其中箭头表示识别结果,其指向代表叶尖方向。采用特征尺寸法识别的茶鲜叶,两端绘有特征圆;采用局部极值点识别的茶鲜叶,各局部极值点在图中以小圆圈绘出,同时在轮廓线中部绘有水平分隔线。通过人眼判断,所得结果均正确。

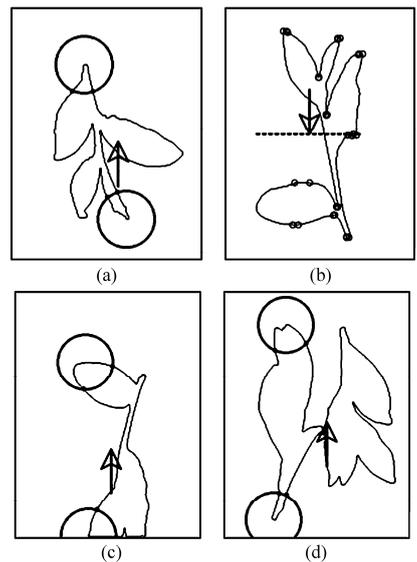


图 12 误判实例

Fig. 12 Examples of misjudgment

(a) 叶尖被当成梗端处理 (b) 阴影使下侧局部极值点增多 (c) 最高点落在叶片上 (d) 多根鲜叶被识别为一根

此外,还存在部分误判的情况,图 12 列出几种典型实例。图 12a 的误判是由于叶尖特征尺寸小而梗端大,这与通常的叶尖特征尺寸大相反,叶尖被当作梗端处理了;图 12b 中,虚线右下方出现了一些不正常的局部极值点,使下侧局部极值点数增加而误判为叶尖,这些点来自阴影;图 12c 是由于第一叶片下垂,使轮廓线的最高点落在了叶片上,而不是茶梗末端。图 12d 由于两根茶鲜叶靠得太近而被误识为一个物体,因而结果是不合理的。

程序在一台型号为 DELL vostro 260 的台式机

上运行,CPU 主频 3.1 GHz,内存 3 GB,总耗时约 4.5 s,每根茶鲜叶的平均处理时间为 17.8 ms,优于文献[3]识别茶叶嫩芽的速度 0.45 s/幅。另外,实验测得单根茶鲜叶的平均质量约 1.267 g,因此程序的处理能力为 71.23 g/s,即 256.4 kg/h。实际工作中,还会穿插执行其他的工艺动作,因此计算速度能够满足实时处理的需求。

对于误判实例,可通过机械方法收集后统一处

理,如将进料滑槽分为上、下两段,上滑槽固定,下滑槽可相对上滑槽转动,当下滑槽倒转时,停留在下滑槽锥形缩口中的茶鲜叶从两者间隙倒出。为提高工效,该动作仅当传感器检测到缩口中有茶叶未被机械手取走时执行。

6 结论

(1)根据茶鲜叶梗部长度的不同,提出了特征尺寸和局部极值点相结合的方法,进行茶鲜叶的方

向识别。

(2)可处理不同复杂形态的茶鲜叶:特征尺寸法适用于长梗茶鲜叶,算法简单,识别率高;局部极值点方法适用于短梗茶鲜叶,与特征尺寸法相比,计算量相对较大,识别率相对较低,与 Harris 角点检测相比,该方法更适合作茶鲜叶方向识别。

(3)只需计算局部特征参数,不涉及复杂耗时的运算,每根鲜叶的平均处理时间为 17.8 ms,可满足实时处理的需要。

参 考 文 献

- 张正竹,李尚庆,吴卫国,等. 茶叶现代化加工技术和装备的研究与推广[J]. 中国茶叶,2009(2):4~6.
- 谭俊峰,金华强,黄跃进,等. 自动化炒青绿茶生产线的设计与应用[J]. 茶叶科学,2010,30(3):229~234.
Tan Junfeng, Jin Huaqiang, Huang Yuejin, et al. Design and application of automatic production line on roasted green tea [J]. Journal of Tea Science, 2010, 30(3):229~234. (in Chinese)
- 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)
- 汪建. 结合颜色和区域生长的茶叶图像分割算法研究[J]. 茶叶科学,2011,31(1):72~77.
Wang Jian. Segmentation algorithm of tea combined with the color and region growing [J]. Journal of Tea Science, 2011, 31(1):72~77. (in Chinese)
- 陆江锋,单春芳,洪小龙,等. 基于数字图像的茶叶形状特征提取及不同茶叶鉴别研究[J]. 茶叶科学,2010,30(6):453~457.
Lu Jiangfeng, Shan Chunfang, Hong Xiaolong, et al. Shape extraction and varietal discrimination of tea based on digital image [J]. Journal of Tea Science, 2010, 30(6):453~457. (in Chinese)
- Du Jixiang, Wang Xiaofeng, Zhang Guojun. Leaf shape based plant species recognition [J]. Applied Mathematics and Computation, 2007,185(2):883~893.
- Cholhong Im, Nishida H, Kunii T L. Recognizing plant species by normalized leaf shapes [C]// Vision Interface, '99, Trois-Rivières, Canada, 1999:397~404.
- Takeshi Saitoh, Kimiya Aoki, Toyohisa Kaneko. Automatic recognition of blooming flowers [C]// Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004, 1:27~30.
- Wang Z, Chi Z, Feng D. Shape based leaf image retrieval [J]. Vision, Image and Signal Processing, IEE Proceedings, 2003, 150(1):34~43.
- 吴晓阳. 基于 OpenCV 的运动目标检测与跟踪[D]. 杭州:浙江大学,2008.
- 代科学,李国辉,涂丹,等. 监控视频运动目标检测减背景技术的研究现状和展望[J]. 中国图象图形学报,2006,11(7):919~927.
Dai Kexue, Li Guohui, Tu Dan, et al. Prospects and current studies on background subtraction techniques for moving objects detection from surveillance video [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(7):919~927. (in Chinese)
- Massimo Piccardi. Background subtraction techniques: a review [C]//2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2004,4:3 099~3 104.
- 范伊红,张元,黄涛. 运用视频监控技术检测高速运动目标的新算法[J]. 计算机工程,2006,32(22):240~242.
Fan Yihong, Zhang Yuan, Huang Tao. New algorithm for detection of high-speed moving objects using video monitor method [J]. Computer Engineering, 2006, 32(22):240~242. (in Chinese)
- Otsu N. A threshold method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979,9(1):62~69.
- Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector [C]//Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference,1988:147~151.
- 杨蜀秦,宁纪锋,何东健. 基于 Harris 算子的籽粒尖端识别方法[J]. 农业机械学报,2011,42(3):166~169.
Yang Shuqin, Ning Jifeng, He Dongjian. Identification of tipcap of agricultural kernel based on Harris algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3):166~169. (in Chinese)