

基于约束 Delaunay 三角网的茶鲜叶几何参数识别*

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: 为自动识别不同方位茶鲜叶的几何参数,在鲜叶轮廓点均匀化、稀疏化的基础上,引入约束 Delaunay 三角网,对叶片区域进行三角剖分,然后根据端点三角形、跨接三角形及交汇三角形的特点,计算叶片中轴线及主干中轴线,据此确定茶鲜叶的方位并对叶片进行排序,与此同时,还计算了每张叶片的长度、宽度、面积以及叶柄间距,提出反映大宗茶原料粗老度的几何特征指标,探讨了质量等级细分的方法。通过对 150 幅图像中 174 根茶鲜叶的识别结果表明,识别正确率达 94.2%,平均每根鲜叶的处理时间为 74.7 ms。

关键词: 茶鲜叶 几何参数 Delaunay 三角网 识别

中图分类号: TP391.41; S571.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)09-0066-06

引言

在不考虑加工技术的情况下,鲜叶原料的等级在很大程度上决定了成品茶的品质。关于茶叶品质的评定,目前主要围绕干茶展开,研究方法涉及光学^[1]、光谱学^[2]、气味检测^[3]等多个学科领域。相比之下,关于茶鲜叶等级评定的研究相对较少。在这方面,李胜鹏利用近红外光谱研究了基于水分、全氮量和粗纤维含量的茶鲜叶原料质量评价方法,提出了茶鲜叶质量系数计算公式^[4];李洁通过茶叶色泽研究了茶叶嫩度的评定方法^[5];杨福增等根据茶叶的颜色和形状特征,实现了茶叶嫩芽的识别^[6]。为实现茶鲜叶的定向,何雪军等研究了倾斜滑槽中的茶鲜叶方向识别问题^[7]。本文针对大宗茶加工,在茶叶色泽的基础上引入茶鲜叶的几何参数描述,进行茶鲜叶等级识别。

1 茶鲜叶等级的传统评定方法

茶鲜叶的质量主要由嫩度、匀度、新鲜度和净度 4 个参数表示。生产上,一般采用抽样统计的方法确定茶鲜叶的质量等级。例如,中小叶种大宗绿茶三级鲜叶的标准为:一芽一叶~三叶大于等于 35%,对夹二叶、少量对夹三叶和同等嫩度单片叶小于等于 50%^[8]。另外,同为一芽三叶,茶叶的老嫩也会有所区别,主要表现在叶片的大小、色泽,叶柄间距等。

通过图像识别,对芽、叶数进行统计,可初步确定鲜叶等级,通过计算各类叶片的几何参数,如叶片长度、宽度、面积,叶柄间距等,可为鲜叶等级的进一步细分提供参考。

2 实验方法

2.1 图像采集方法

刚从树上采下的茶鲜叶,需静置一段时间,使之萎软,以确保叶片能在平面上展开,从而获取平整的鲜叶图像,方便后续处理。为缩短处理时间,亦可手工压平。

图像采集装置如图 1 所示。摄像头与底板的相

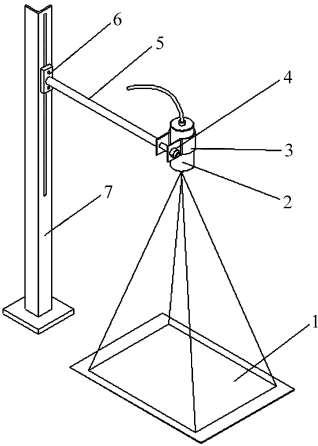


图 1 茶鲜叶图像采集装置

Fig. 1 Image acquiring device for fresh tea leaf

1. 底板 2. 摄像头 3. 夹环 4. 夹紧螺母 5. 支杆 6. 滑块 7. 支座

收稿日期: 2013-09-25 修回日期: 2013-10-26

* “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 CAD/CG 研究, E-mail: dwjcom@zju.edu.cn

对位置通过支座调节,调节滑块可改变摄像头的高度。夹环夹住摄像头的同时,其末端的安装孔穿过支杆。操作时,旋转夹环,使摄像头对准被摄物体,然后旋紧螺母,将摄像头方位固定下来。此外,光源的布置应尽量消除视场中的阴影,凸显前景目标,本文采用夜间室内光线,若采用专业光照处理,效果更佳。

2.2 茶鲜叶外形轮廓的提取

首先将获取的彩色图像转为灰度图,然后通过阈值处理(如 Otsu 法^[9])提取前景目标,利用腐蚀操作,消除孤立点,通过膨胀,将可能断开的叶片区域连为一体。而后,利用 8 邻域法搜索鲜叶的外形轮廓,忽略那些点数少、长而窄的轮廓线,仅留下尺寸较大的轮廓,作为需要进一步处理的对象。

2.3 基于距离曲线峰谷值的参数提取方法

在茶鲜叶叶尖朝上放置的情况下,连接茶梗末端和鲜叶轮廓上的一系列点,得到距离曲线如图 2 所示。

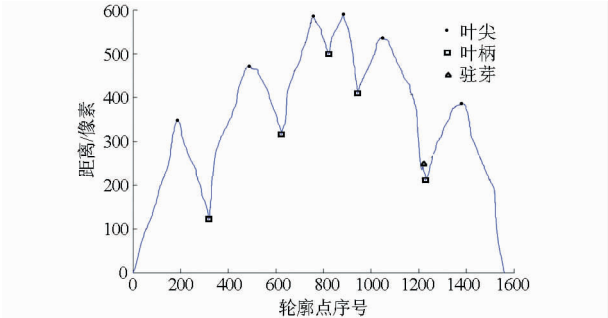


图2 茶梗末端至轮廓点的距离曲线

Fig.2 Distance curve from tea stalk end to contour points

一般情况下,图 2 中的曲线峰值、谷值分别与叶尖、叶柄对应,如图 3a 所示,图中的大圆和小圆分别对应于曲线的峰值和谷值,但序号 1~3 对应的大圆并没有正确标在叶尖上。小圆的位置虽然与叶柄较为接近,但还要确定另一个接近点,才能分离出单一叶片的轮廓线,该问题的处理本身较为困难。另外,该方法对鲜叶的朝向敏感,当叶尖朝下放置时,由于最低点默认为茶梗,将得到错误结论,如图 3b 所示。

3 基于约束 Delaunay 三角网的参数提取

为获取茶鲜叶的详细信息,同时考虑到茶鲜叶放置方向的不确定性,本文引入骨架提取方法,在识别出茶鲜叶的骨架后,可将骨架线的交点作为叶柄,各骨架分支分别代表叶片、茶梗及芽头。

常用的骨架提取方法主要有对称轴分析法、细化法、形状分解法等^[10],其中一些算法需要对整幅图进行变换,计算量较大。本文采用约束 Delaunay 三角网进行骨架求解^[11-12],由于只涉及图像的轮廓

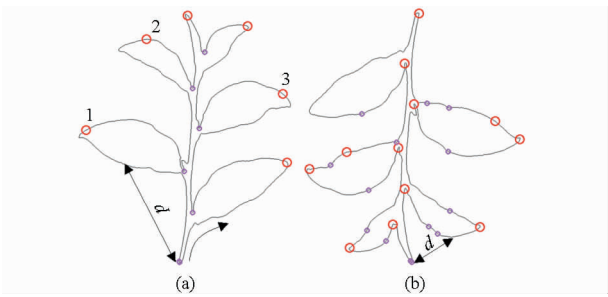


图3 距离曲线上的峰值与谷值在图像上的对应

Fig.3 Corresponding of distant curve's summit and valley in the figure

(a) 竖直放置 (b) 颠倒放置

点,计算量较小。

如图 4,在鲜叶区域的约束 Delaunay 三角网中,包含 3 类三角形^[13]:①端点三角形:有两条边界边,位于叶尖及梗端。②交汇三角形:3 条边均为内部边,位于叶柄。③跨接三角形:除前两类三角形外的三角形,有且仅有一条边界边。

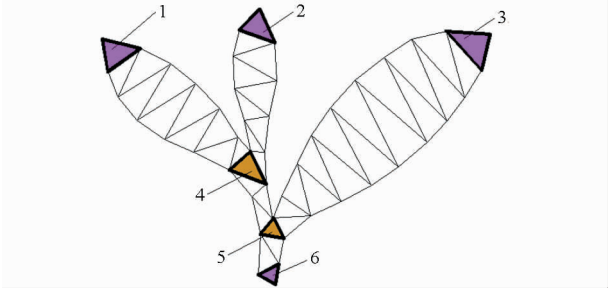


图4 三角形的分类

Fig.4 Classification of triangles

1、2、3、6. 端点三角形 4、5. 交汇三角形

本文算法流程如图 5 所示,其中,图像预处理、轮廓线提取与原有方法相同,不再赘述。

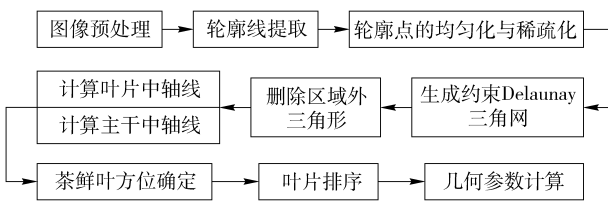


图5 算法总体流程图

Fig.5 Flowchart of algorithm

3.1 轮廓点的均匀化与稀疏化

由图 2 可知,茶叶轮廓线上的点多达 1 500 个,这些点之间的前后距离如图 6 所示,由图可知,轮廓点的分布极不均匀,最大距离是最小距离的 30 倍,通过线性插值,插入一些新点,可使点与点之间的距离均匀化。另一方面,间距在 5 像素以下的点过多,数据点过密,为提高程序运行速度,应适当删减。删减之后,点的分布可以从图 7 看出,点数降为 175。

3.2 约束 Delaunay 三角网的构建

Delaunay 三角网的构建采用逐点插入法。首先

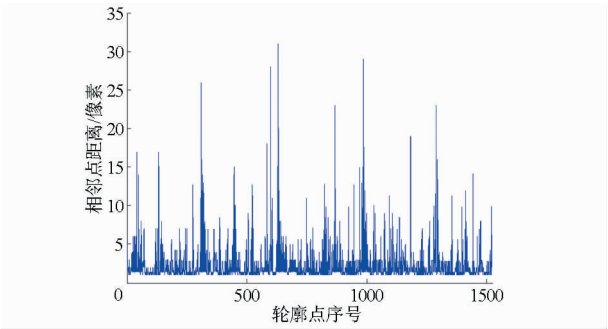


图 6 相邻轮廓点距离曲线

Fig. 6 Distant curve of adjacent contour points

计算轮廓点的包容矩形,稍加扩大后,连接主对角线,形成 2 个三角形,然后沿轮廓线走向依次插入各点,每插入一点,形成 3 个新的三角形,并通过圆准则进行 LOP 局部优化操作。与此同时,将叶片轮廓设为约束边,与约束边相交的线段执行交换操作^[14-15],并进行局部优化,最后,删除最外侧矩形,得到约束 Delaunay 三角网如图 7 所示。

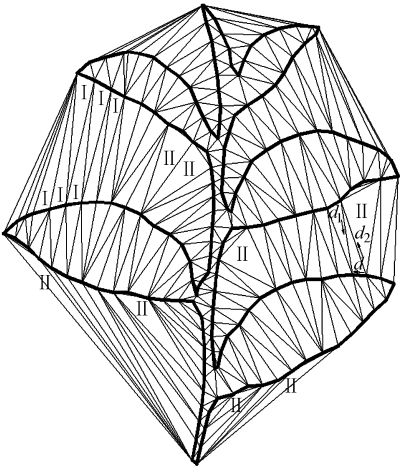


图 7 凸多边形的约束 Delaunay 三角剖分

Fig. 7 Constrained Delaunay triangulation for convex polygon

3.3 删除区域外三角形

由图 7 可知,三角网的边界为凸多边形,而叶片轮廓为凹多边形,尚需删除叶片区域外的两类三角形: I 类三角形:至少有一条边为轮廓边; II 类三角形:3 条边都不是轮廓边。删除方法如下:沿逆时针搜索叶片轮廓,记录以轮廓线为边的右侧三角形,同时记录与该三角形的非轮廓边邻接的三角形。在这些三角形中,删除重复的记录,确保每个三角形仅被记录一次。然后,将记录下来的三角形逐一删除。

删除上述三角形后,就得到了鲜叶区域的三角剖分。但实验中发现,轮廓上的一些微小突起,如图 8 中的 1、2、3,有被误识为“叶尖”的可能,也需要加以删除。这些三角形的特点是,直接与交汇三角形相邻,且删除后,与之相邻的交汇三角形成为跨接

三角形^[16]。在图 8 中,由于 2、3 过小,直接被程序忽略了。

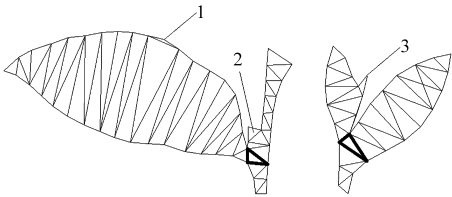


图 8 伪端点三角形的删除

Fig. 8 Removal of pseudo end triangle

1. 局部凸起 2. 驻芽 3. 最小芽头

3.4 叶片中轴线的确定

如图 9,首先找到位于叶尖的端点三角形,连接叶尖点 A 与其对边中点 M,然后,沿邻接三角形向内搜索,若为跨接三角形,连接跨接边中点;若为交汇三角形,记录该三角形,连接其重心 B,同时将前进路径上的交汇边记为“V”,表示已访问过,求解结果如图 9 所示。

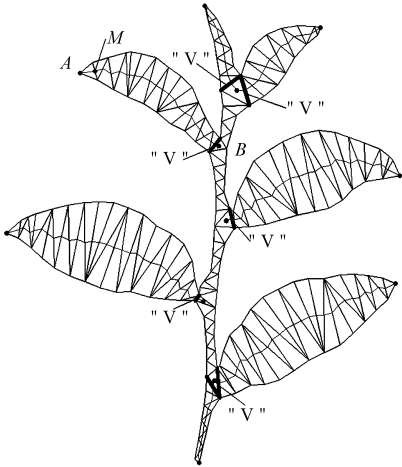


图 9 叶片中轴线求解结果

Fig. 9 Result of median axis of tea leaf

3.5 主干中轴线的确定

首先,找到有两条边被标记为“V”的交汇三角形,一般有 2 个,分别位于两芽头交汇处及梗端第一叶柄,记为 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 。从交汇三角形 $\Delta 1$ 到 $\Delta 2$,可求出主干中轴线,求解方法与叶片中轴线类似,只是中间还会遇到其它交汇三角形,只要不去访问那些带“V”标记的边即可,此时,三角形 $\Delta 1$ 与 $\Delta 2$ 之间的路径是唯一的。

3.6 叶片排序

首先需要确定茶鲜叶的方位。为此,在求解主干中轴线之前,需对交汇三角形 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 进行区分。如图 10,假设 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 分别位于两芽头交汇处及梗端第一叶柄。连接 $\Delta 2$ 、 $\Delta 1$ 重心得矢量 p ,连接 B_i 、 A_i 得矢量 q_i ,其中, $i=1 \sim N$, N 为叶片数加 1。设 p 与 q_i 之间的张角为 θ_i ,其中,锐角和钝角的数量分别为 m 和

n , 若 $m < n$, 则假设错误, 需交换 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$, 这就保证了 3.5 节获得的交汇三角形序列从芽头指向梗端。

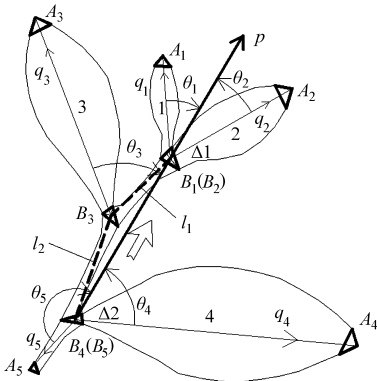


图 10 叶片的排序
Fig. 10 Leaf sorting

其次, 通过交汇三角形的匹配, 进行叶片排序。首先, 取 3.5 节获得的第 1 个交汇三角形, 与 3.4 节中的各交汇三角形比较, 重心重合时, 说明 3.4 节求得的交汇三角形位于两芽头交汇处, 长度短的标为 1 号, 另一个为 2 号。接着, 取 3.4 节获得的第 2 个交汇三角形, 继续匹配, 匹配上的叶片标为 3 号, 其余依此类推。在匹配最后一个交汇三角形时, 不仅要求重心重合, 还要确保矢量 p 和叶片中轴线所张角度为锐角, 在图 10 中为角度 θ_4 而非 θ_5 , 否则会将茶梗误标为叶片。

3.7 茶鲜叶几何参数的计算

- (1) 叶片的长度, 由连接 A_i 、 B_i 的直线段长度确定, 也可按中轴线计算。
- (2) 叶片的宽度, 首先计算相应叶片上各跨接三角形边界边上的高, 取其中的最大值。
- (3) 叶片的面积, 为叶片所在区域各类三角形面积之和, 面积的计算采用海伦公式。
- (4) 叶柄间距, 依次计算相邻两个交汇三角形的重心间距。

4 识别结果

实验摄取了 150 幅图像, 共含有茶鲜叶 174 根。程序在一台型号为 DELL optiplex 380 的台式机上运行, CPU 主频 2.93 GHz, 内存 3 GB, 总耗时 13 s, 每根茶鲜叶的平均处理时间为 74.7 ms, 优于文献[6]识别茶叶嫩芽的速度(0.45 s/幅)。识别结果中, 有 10 根茶鲜叶包含错误, 正确率为 94.2%。

在图 11 的识别结果中, 序号从芽头编起, 箭头代表了茶鲜叶的方向。由图可知, 程序正确识别出了每一张叶片, 且算法与茶鲜叶的放置方向无关。

图 12 为包含错误的情况。图 12a 将两处芽头的序号标成了 2, 图 12b 左边有一叶片漏标, 右边有

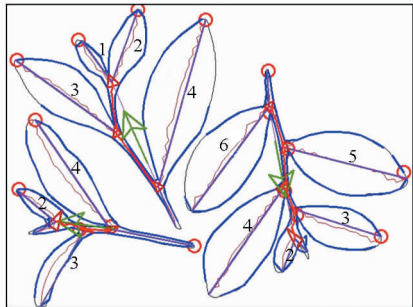


图 11 识别结果实例
Fig. 11 Examples of recognition results
(a) 原图像 (b) 识别结果

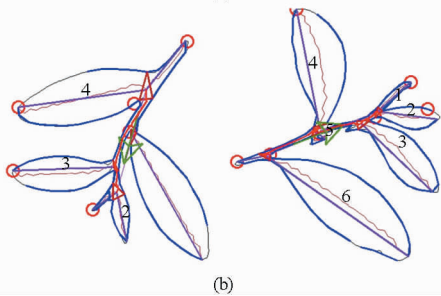
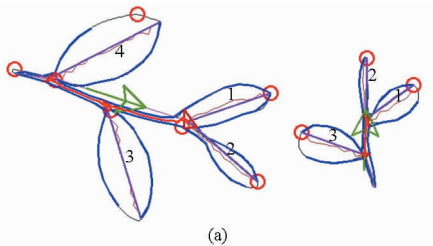


图 12 包含错误的实例
Fig. 12 Examples contain errors

(a) 最小芽头未标为 1 (b) 叶片漏标以及误标

一阴影被标为 5。但图 12 中鲜叶的方向识别始终正确。

经过标定, 取 x 和 y 方向图像尺寸与实际尺寸的换算系数 0.357, 据此可求出每张叶片的实际长度、宽度及面积, 图 13a 为 3 号叶片的长度和宽度, 从曲线走向看, 两者存在很强的相似性。图 13b 为叶片面积, 以及叶片长 $\times$ 宽曲线, 两者的走向也十分接近, 这符合实际情况。

进一步, 还可统计该批鲜叶原料的构成, 如表 1 所示。其中一芽三叶占 35.1%, 接近中小叶种大宗

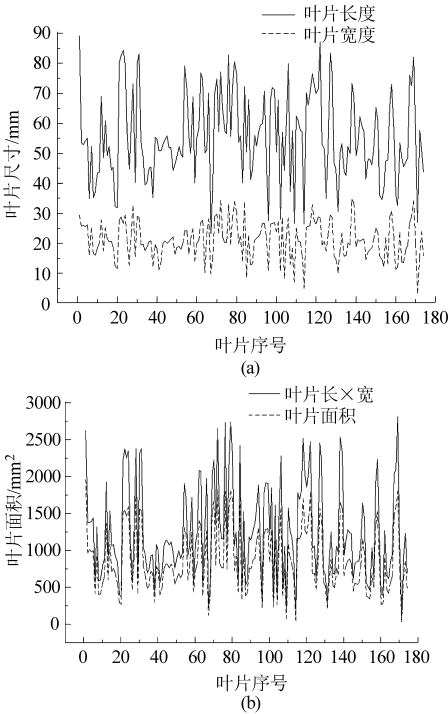


图 13 3 号叶片的长度、宽度与面积
Fig. 13 Length, width and area of fresh tea No. 3
(a) 长、宽分布 (b) 面积分布

绿茶三级的标准,只是原标准按质量计,本文是按数量计。

表 1 茶鲜叶的构成
Tab.1 Construction of fresh tea

项目	一芽	一芽 一叶	一芽 二叶	一芽 三叶	一芽 四叶	一芽 五叶	鲜叶 总数
数量	0	0	7	61	75	31	174
百分比/%	0	0	4.0	35.1	43.1	17.8	100

另一方面,还可对茶鲜叶的特征参数进行统计,其结果如表 2 所示。该表反映了各类叶片的尺寸大小及相应参数的波动情况。为进一步细化鲜叶分级,定义反映粗老度的几何特征指标

$$D = \sum_{i=1}^n (\bar{l}_i + \bar{w}_i + \sqrt{\bar{a}_i}) + \sum_{i=1}^m \bar{L}_i \quad (1)$$

式中 $\bar{l}_i, \bar{w}_i, \bar{a}_i$ ——第 i 类叶片长度、宽度、面积的平均值

$\bar{L}_i$ ——自芽头算起的叶柄间距平均值

n ——最大叶片编号

m ——最大叶柄间距编号

对一批茶鲜叶来说,每根茶鲜叶包含的叶片数越多,叶片的尺寸越大,由式(1)算得的 D 值也越大,对应的茶叶越粗老。只要实验一个茶季,即可摸清各批次茶叶的 D 值,在此基础上,可对茶叶原料的等级作更细的划分。

表 2 茶鲜叶特征参数识别结果

Tab.2 Recognition results of fresh tea's feature parameters

项目	1 号芽头			2 号叶片			3 号叶片			4 号叶片		
	l_1/mm	w_1/mm	a_1/mm^2	l_2/mm	w_2/mm	a_2/mm^2	l_3/mm	w_3/mm	a_3/mm^2	l_4/mm	w_4/mm	a_4/mm^2
均值	25.2	7.8	123.5	35.4	13.6	376.4	55.6	21.1	867.9	71.6	28.6	1 443.5
均方差	10.4	2.9	116.2	11.4	5.4	268.3	14.4	6.3	438.9	13.5	6.0	526.6

项目	5 号叶片			6 号叶片			叶柄间距			
	l_5/mm	w_5/mm	a_5/mm^2	l_6/mm	w_6/mm	a_6/mm^2	L_1/mm	L_2/mm	L_3/mm	L_4/mm
均值	75.7	30.6	1 645.5	79.3	32.7	1 813.0	18.2	28.8	30.5	25.9
均方差	16.4	5.7	545.5	12.6	4.9	470.6	7.5	9.8	9.4	7.2

5 结论

- (1)将约束 Delaunay 三角网用于茶鲜叶几何参数的识别,适用于不同朝向的茶鲜叶。
- (2)算法识别图像的正确率达 94.2%, 错误的原因主要是叶片序号标错、叶片漏标以及受阴影的

影响,相比之下,茶鲜叶的方向识别未出现错误。
(3)通过芽叶数统计可初步确定鲜叶原料的质量等级,在几何参数统计分析的基础上,借助反映鲜叶原料粗老度的几何特征指标 D ,可对鲜叶等级作进一步细分。将不同等级的鲜叶原料与相应的工艺数据库关联,可借助专家知识提高成品茶的品质。

参 考 文 献

1 李晓丽. 基于机器视觉及光谱技术的茶叶品质无损检测方法研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.
2 陈全胜,赵杰文,蔡健荣,等. 利用高光谱图像技术评判茶叶的质量等级[J]. 光学学报,2008,28(4):669-674.
Chen Quansheng, Zhao Jiewen, Cai Jianrong, et al. Estimation of tea quality level using hyperspectral imaging technology[J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(4): 669-674. (in Chinese)
3 于慧春,王俊. 电子鼻技术在茶叶品质检测中的应用研究[J]. 传感技术学报,2008,21(5):748-752.
Yu Huichun, Wang Jun. Tea quality detection basic on electronic nose [J]. Chinese Journal of Seneors and Actuators, 2008, 21(5): 748-752. (in Chinese)

4 王胜鹏,宛晓春,林茂先,等. 基于水分、全氮量和粗纤维含量的茶鲜叶原料质量近红外评价方法[J]. 茶叶科学,2011,31(1):66-71.
Wang Shengpeng, Wan Xiaochun, Lin Maoxian, et al. Estimating the quality of tea leaf materials based on contents of moisture, total nitrogen and crude fiber by NIR-PLS techniques [J]. Journal of Tea Science, 2011, 31(1): 66-71. (in Chinese)

5 李洁,齐桂年. 利用计算机图像处理测定茶鲜叶色泽及其萎凋程度变化的初步研究[J]. 中国茶叶加工,2008(1):20-22.

6 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)

7 何雪军,王进,陆国栋,等. 基于特征尺寸及局部极值点的茶鲜叶方向识别[J]. 农业机械学报,2013,44(12):233-238.
He Xuejun, Wang Jin, Lu Guodong, et al. Recognition of fresh tea direction based on feature size and local extreme points[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(12):233-238. (in Chinese)

8 白堃元. 茶叶加工[M]. 北京:化学工业出版社,2001.

9 Otsu N. A threshold method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979,9(1):62-69.

10 廖志武. 2-D 骨架提取算法研究进展[J]. 四川师范大学学报,2009,32(5):676-688.
Liao Zhiwu. A survey of 2-D skeletonization algorithm[J]. Journal of Sichuan Normal University, 2009, 32(5): 676-688. (in Chinese)

11 Zou Jujia, Yan Hong. Skeletonization of ribbon-like shapes based on regularity and singularity analyses[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics, 2001, 31(3): 401-407.

12 Morrison Paul, Zou Jujia. Triangle refinement in a constrained Delaunay triangulation skeleton[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(10): 2754-2765.

13 倪健,董强. 基于 Delaunay 三角网的骨架提取算法研究 [J]. 舰船科学技术,2006,28(4):106-108.
Ni Jian, Dong Qiang. The research of skeletonization algorithm based on Delaunay triangulation [J]. Ship Science and Technology, 2006, 28(4): 106-108. (in Chinese)

14 Øyvind Hjelle, Morten Dæhlen. Triangulations and applications [M]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006.

15 李立新,谭建荣. 约束 Delaunay 三角剖分中强行嵌入约束边的多对角线交换算法[J]. 计算机学报,1999,22(10):1114-1118.
Li Lixin, Tan Jianrong. Multiple diagonal exchanging algorithm for inserting constrained boundary in constrained Delaunay triangulation [J]. Chinese Journal of Computers, 1999, 22(10): 1114-1118. (in Chinese)

16 罗广祥,李安芹,赵所毅,等. 基于约束性 Delauney 三角网确定多边形中轴线的研究[J]. 测绘技术装备,2004,6(2):30-33.

Geometric Parameters Recognition of Fresh Tea Leaf Based on Constrained Delaunay Triangulation

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: To automatically recognize the geometric parameters of fresh tea leaves with different orientations, constrained Delaunay triangulation was introduced to triangulate the area of fresh tea leaf after operations, which made the contour points distribute evenly and sparsely. Then, with the character of end triangle, adjacent triangle and connect triangle, median axis of tea leaves and tea stalks were calculated, thus the orientation of a fresh tea leaf was determined and the tea leaf was labeled. At the same time, the length, width, and area of each tea leaf was calculated, as well as distance between petioles. Based on above results, a geometric feature index concerning the oldness of fresh bulk tea was proposed, and a possible method to finely divide the grade of fresh tea was also discussed. Totally 150 images with 174 pieces of fresh tea leaves were used to validate the algorithm, and a recognition rate of 94.2% was obtained, and the average time to treat a single fresh tea leaf was 74.7 ms.

Key words: Fresh tea leaf Geometric parameter Delaunay triangulation Recognition