

基于颜色和纹理特征的柑橘自动分级

卢军¹ 付雪媛² 苗晨琳² 张琬桐² 丁孺牛¹

1. 华中农业大学理学院, 武汉 430070; 2. 华中农业大学食品科学技术学院, 武汉 430070

摘要 以柑橘为供试对象,研究了计算机视觉分级中的柑橘图像采集和图像信息处理方法。利用单个摄像机对每个柑橘从4个侧面采集4幅图像,利用4幅图像特征的平均值作为该样本的最终特征,研究基于果实颜色和表面纹理的柑橘图像快速处理分级技术。以人工感官鉴评结果作为分级标准,以训练好的概率神经网络对60个柑橘样本进行了分级试验。结果表明:系统对各级水果的识别成功率略有不同,对一级果和四级果的识别率最高,二级和三级果的识别率稍低,整体识别率约为85%。

关键词 柑橘; 分级; 感官鉴评; 颜色和纹理; 概率神经网络

中图分类号 S 432.4⁺5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)06-0783-04

中国是柑橘生产大国,种植面积和产量均为世界第一。但由于采后深加工技术落后,造成上市的柑橘品质良莠不齐。分级是柑橘深加工的重要内容,目前我国柑橘分级主要依靠人工,因劳动者个体差异导致分级一致性差、效率低。利用机器视觉进行分级可针对水果的尺寸、颜色、外形、缺陷等外观进行综合分级,其客观性强、标准一致、效率高,属于无损检测,是解决人工分级问题的有效途径,也是目前机器视觉技术在农业应用中的研究热点^[1-2]。

冯斌等^[3]提出利用各色度在水果表面分布的分形维数为特征对富士苹果进行了分级,并利用边缘检测后水果的对称性再对水果的轴向和大小进行检测^[4]。应义斌等^[5]提出了一种基于 Zernike 矩的水果形状分类方法,试验表明其具有良好的正交性和旋转不变性。张俊雄等^[6]研究了基于果径大小和表面颜色的柑橘自动分级技术,按大小分级的精度达到 ± 1.5 mm。曹乐平等^[7]研究了利用柑橘分形维数描述柑橘形状和果皮光滑度的分级方法。上述研究从颜色、尺度或者形状某个单一的特征维度出发,实现了较好的分类效果且具有较高的准确率,但更科学的分级应考虑综合特征,而不仅仅是从某一个特征维度进行分级。

笔者选择柑橘为供试对象,以3个维度6个指标的人工感官鉴评结果为分级标准,通过提取柑橘图像颜色矩和统计纹理特征,利用训练好的概率神

经神经网络对60个柑橘样本进行了分级试验,旨在为研究基于果实颜色和表面纹理的柑橘图像快速处理分级技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料和硬件平台

试验于2011年10月下旬进行,在华中农业大学果蔬市场采购温州蜜柑120个作为试验样本,依次置于环形日光灯照明的光箱中,用工业数字摄像机采集花萼面及背面、2个侧面共4幅图像,供视觉分级使用。

根据试验要求,自行构建基于机器视觉技术的图像采集分析平台,其结构如图1所示。摄像头由德国AVT公司生产,型号为Stingray F-504C,相机分辨率为 $2\ 452 \times 2\ 056$,采集卡为大恒公司DH-CG300图像采集卡。摄像机镜头距光箱底部高度545 mm,背景平台尺寸为 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 。计算机Lenovo PIV 2.13 G CPU,内存1 024 M。

1.2 图像采集

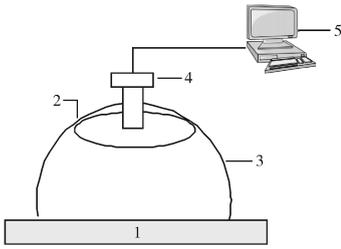
柑橘的图像采集在白色背景的光学平台上进行,平台上罩白色背景的漫反射穹顶,光源由11 W的环形日光灯提供,以形成无阴影的均匀照明。首次采样时,调整焦距和样品位置,使采集到的图像达到最佳效果,固定参数以便后续图像采集,并将采集到的图像数据通过图像采集卡传输到计算机。

收稿日期: 2012-04-17

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(2011QC024)

卢军, 博士研究生, 讲师. 研究方向: 图像处理与计算机视觉. E-mail: lujun5918@163.com

通讯作者: 丁孺牛, 博士, 副教授. 研究方向: 物理方法在生物中的应用. E-mail: drn1026@163.com



1. 白色背景 White background; 2. 环形光源 Circular light source; 3. 漫反射穹顶 Diffused dome; 4. 电耦合装置 Charge couple device (CCD); 5. 电脑 Computer.

图 1 图像采集部分示意图

Fig. 1 The diagram of image acquisition system

1.3 图像预处理

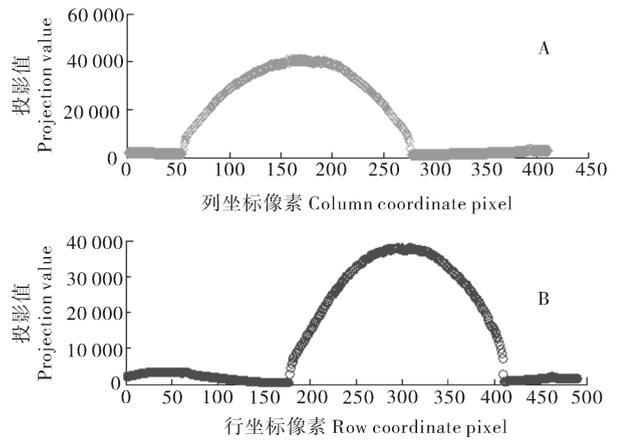
1) 图像消噪。鉴于成像过程中主要存在的椒盐噪声,选择常用的 3×3 中值滤波器对柑橘图像进行滤波处理。中值滤波能有效去除椒盐噪声,图像边缘及细节部分信息保存较完整、清晰,达到了较优的滤波效果。

2) 图像分割。对采集后的彩色图像进行灰度变换,对变换后的灰度图像进行中值滤波后,采用投影方法对图像中的柑橘进行目标分割。确定柑橘区域边界时,通过将原始图像在水平和垂直方向进行投影来实现目标分割。设原始图像大小为 $M \times N$,则柑橘目标的左右边界 c_1, c_2 的确定方法是令数组 $R(N)$ 为按列求和的数组。从 $R(N)$ 中最大值对应的位置分别向左向右寻找左右边界,沿着水平方向向右寻找 $R(i) \geq \delta$ 且 $R(i+1) < \delta$, 这就是右边界 c_2 ; 沿着水平方向向左寻找 $R(i) < \delta$ 且 $R(i+1) \geq \delta$, 这就是左边界 c_1 。其中 δ 可取图像水平投影最大值的 $3\% \sim 5\%$ 为容纳噪声干扰的上限。上下边界 r_1, r_2 的确定方法与左右边界的确定方法类似,只是此时在按行求和数组 $C(M)$ 中进行^[8]。图 2 为某样本在水平和垂直方向的投影曲线,经过投影和阈值化处理之后,即可确定柑橘的最小外接矩,然后对最小外接矩内部的柑橘目标提取其颜色、纹理和形状特征构成分级的特征向量。

1.4 特征提取

不同级柑橘的表面颜色和光滑程度均有差异,故选择颜色和纹理参数表征其在成熟程度、营养成分和口感等方面的差异。获取每个样本 4 个侧面图像的特征值,并取均值作为整粒柑橘的特征参数。

1) 颜色特征值参数。颜色特征是在图像检索中应用最为广泛的视觉特征,主要原因在于颜色往往



A. 水平方向投影 Horizontal projection; B. 垂直方向投影 Vertical projection.

图 2 柑橘样本在水平和垂直方向的投影曲线

Fig. 2 The projection of a citrus sample along horizontal and vertical

和图像中包含的物体或场景高度相关,且颜色特征对图像的尺度、方向和视角依赖性小,具有较高的鲁棒性。一种非常简单有效的颜色特征是颜色矩,这种方法的数学基础在于图像中任何的颜色分布均可以用它的矩来表示。

此外,由于颜色分布信息主要集中在低阶矩中,所以仅采用颜色的一阶矩、二阶矩和三阶矩就足以表达图像的颜色分布^[9]。

I. 一阶矩(颜色均值):

$$\mu_1 = \frac{1}{N} \sum_{i \in D} P_i \quad (1)$$

式中 μ_1 为某区域一阶中心矩, D 为目标区域, P_i 为 D 区域内某个像素的颜色值或灰度值, N 为 D 区域内像素数目。

II. 二阶矩(颜色方差):

$$\mu_2 = \frac{1}{N} \sum_{i \in D} (P_i - \mu_1)^2 \quad (2)$$

III. 三阶矩(颜色偏度):

$$\mu_3 = \frac{1}{N} \sum_{i \in D} (P_i - \mu_1)^3 \quad (3)$$

1.5 纹理特征参数

直方图是图像特定窗口中,不同灰度分布的概率统计,特定图像窗口中的纹理基元对应着一定规律分布的直方图。因此,通过比较不同图像窗口的直方图的相似性,即可发现及鉴别纹理基元排列的周期性及紧密型^[10-11]。本试验针对直方图统计特征,采用了均值、标准方差、平滑度、三阶矩、一致性和熵 6 个指标,分别定义如下:

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i) \tag{4}$$

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^2 p(z_i)} \tag{5}$$

$$R = \frac{1}{(1 + \sigma^2)} \tag{6}$$

$$\mu_3 = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^3 p(z_i) \tag{7}$$

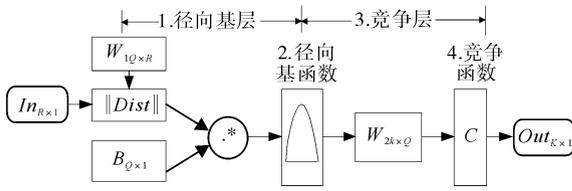
$$U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i) \tag{8}$$

$$s = - \sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \log_2 p(z_i) \tag{9}$$

式中 L 为灰度级总数, z_i 表示第 i 级灰度值, $P(z_i)$ 是归一化直方图灰度级分布中灰度为 z_i 的概率, $h(z_i)$ 是直方图中统计的灰度为 z_i 的像素个数。

1.6 概率神经网络

概率神经网络 (probabilistic neural network, PNN) 是一种新型的前馈神经网络模型, 由径向基函数神经网络和概率神经网络发展而来, 它具有训练时间短、灵活性高的优点, 经常被用来解决分类问题^[12-13]。图 3 是概率神经网络的示意图。



1. Radial basis function layer; 2. Radial basis function; 3. Competition layer; 4. Competition function.

图 3 采用概率神经网络的结构

Fig. 3 The framework of probabilistic neural network

概率神经网络有 2 层, 前面为径向基层, 后面为竞争层。径向基层的输入权重 W_1 是一个 $Q \times R$ 矩阵, 其中 Q 是训练集中样本数量, R 为输入特征数量。当有矢量 $In_{R \times 1}$ 输入时, $\|Dist\|$ 计算输入特征矢量与训练特征矢量间的距离, 它的输出点乘偏置矢量 b 后送入径向基函数单元。选择高斯型的径向基函数如下:

$$f(x) = e^{-x^2/2\sigma^2} \tag{10}$$

式中 x 为输入函数, σ 为 x 的形状参数。当输入矢量接近训练矢量时, 基函数输出接近 1。竞争层输入权重 W_2 为 $K \times Q$ 矩阵, 其中 K 为分类类别数量。竞争层累加输入矢量对每个类别的贡献, 可得到其输出概率。对每个输入特征矢量, 选取具有最大输出概率的类别并赋值 1, 其他类则赋值 0。

2 结果与分析

为对不同级别的柑橘实现自动分级, 建立了由 120 个样本构成的样本集, 由 6 名鉴评人员对每个样本从外形 (橘皮颜色, 橘子完整程度, 橘子皮薄厚)、质地 (橘子软硬)、风味 (口感, 水分) 共 3 个维度 6 个指标进行感官鉴评, 每个指标总分 10 分, 按照感官鉴评的最终得分将所有样本分为 4 个等级。从样本集中按比例抽取 60 个样本构成学习集, 60 个样本构成测试集。提取每个样本的 RGB (red, green, blue) 颜色空间的前三阶颜色矩、HSV (hue, saturation, value) 颜色空间的前二阶颜色矩, 以及均值、方差、平滑度、三阶矩、一致性、熵等共 21 个特征作为特征向量, 对概率神经网络进行训练。在用训练数据集训练神经网络前, 先对训练数据进行归一化处理, 以避免数据饱和现象, 加快网络收敛速度。利用训练好的概率神经网络, 在测试集上测试, 结果表明由 RGB 空间的 9 个颜色矩构成的特征向量分级的正确率为 76.67%, 由 6 个纹理特征组成的特征向量分级的准确率为 71.67%, 由所有 21 个特征构成的特征向量分级的准确率为 81.67%。

为了对所有特征的有效性进行分析评价, 项目组通过计算每个特征与样本最终总分之间的相关性, 得出与柑橘鉴评结果相关性最大的 10 个特征如表 1 所示。利用经过特征选择的 10 个特征构成特征向量, 概率神经网络分级的正确率为 85%, 其对应的混淆矩阵如表 2 所示。由表 2 可知, 二级果和三级果的误分类概率最大, 这主要是因为柑橘人工鉴评是从 3 个维度 6 个指标进行的, 而分级算法所采用的特征向量主要由颜色特征和纹理统计特征构成, 特征向量还不足以充分反映人工鉴评的指标。

表 1 与感官鉴评结果相关性最高的 10 个特征

Table 1 The ten selecting features and their correlation coefficient with sense evaluation results

特征 Features	相关系数 Correlation coefficient
a_1 : 灰度均值 Gray average	0.828 2
a_2 : G 分量一阶矩 First moment of G component	0.820 2
a_3 : 灰度方差 Gray variance	0.818 9
a_4 : R 分量三阶矩 Third moment of R component	0.799 7
a_5 : G 分量二阶矩 Second moment of G component	0.798 9
a_6 : R 分量二阶矩 Second moment of R component	0.796 6
a_7 : v 分量一阶矩 First moment of v component	0.791 9
a_8 : R 分量一阶矩 First moment of R component	0.786 4
a_9 : G 分量三阶矩 Third moment of G component	0.779 7
a_{10} : 平滑度 Smoothness	0.779 4

表 2 特征选择后 10 个特征分级的混淆矩阵

Table 2 The confusion matrix of grading results using ten selected features

人工/自动 Manpower/Automation	1	2	3	4
1	18	1	0	0
2	3	14	0	0
3	0	0	11	3
4	0	0	2	8

3 讨论

本试验采用机器视觉技术对柑橘进行分级检测的方法,构建了柑橘图像采集系统,通过对获取的柑橘图像进行分析处理,利用水平和竖直投影实现柑橘与背景准确区分;提取柑橘图像的颜色矩特征及均值、方差、平滑度、三阶矩、一致性、熵等纹理特征来表征柑橘在色泽、纹理等方面的差异;由 6 名鉴评人员从外形、质地和风味共 3 个维度 6 个指标对每个柑橘样本进行了感官鉴评,根据样本最终平均分将所有柑橘分为 4 个等级;利用相关系数法从 21 个特征中提取了 10 个特征作为特征向量,在由 60 个样本集上由概率神经网络识别的正确率为 85%。本研究基于颜色矩和统计纹理特征,利用概率神经网络方法对柑橘进行了自动分级。试验结果表明,利用机器视觉技术模拟人工感官鉴评、综合利用多个特征对水果进行品质分级是可行的,研究结果可为柑橘分级检测方法的研究提供新思路。在随后的研究工作中,应提高样本集的容量和学习集的样本数量,同时应考虑采用多传感器技术和特征融合技

术,增加更有效的特征以充分反映人工感官鉴评的各项指标,使得机器分级结果能更全面客观地反映水果本身的品质。

参 考 文 献

- [1] BROSANAN T, SUN D W. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision system: a review [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 36: 193-213.
- [2] BROSANAN T, SUN D W. Improving quality inspection of food products by computer vision: a review [J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61(1): 3-16.
- [3] 冯斌,汪懋华. 基于颜色分形的水果计算机视觉分级技术[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 141-144.
- [4] 冯斌,汪懋华. 基于计算机视觉的水果大小检测方法[J]. 农业机械学报, 2003, 34(1): 73-75.
- [5] 应义斌,桂江生,饶秀勤. 基于 Zemike 矩的水果形状分类[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2007, 28(1): 1-3.
- [6] 张俊雄,荀一,李伟,等. 基于计算机视觉的柑橘自动化分级[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2007, 28(2): 100-103.
- [7] 曹乐平,温芝元,陈理渊. 基于分形维数的柑橘形状与光滑度的机器视觉分级[J]. 测试技术学报, 2009, 23(5): 407-411.
- [9] SERGIOS T, KONSTANTINOS K. 模式识别[M]. 3 版. 李晶皎,王爱侠,张广渊,译. 北京:电子工业出版社, 2011.
- [10] 秦襄培,郑贤中. MATLAB 图像处理宝典[M]. 北京:电子工业出版社, 2011: 386-387.
- [11] 张铮,王艳平,薛桂香. 数字图像处理与机器视觉: Visual C++ 与 Matlab 实现[M]. 北京:人民邮电出版社, 2010: 383-385.
- [12] 杨淑莹. 模式识别与智能计算: Matlab 实现[M]. 北京:电子工业出版社, 2011: 170-173.
- [13] 杜吉祥,汪增福. 基于径向基概率神经网络的植物叶片自动识别方法[J]. 模式识别与人工智能, 2008, 21(2): 206-213.

Citrus automatic grading by using color and texture features

LU Jun¹ FU Xue-yuan² MIAO Chen-lin² ZHANG Wan-tong² DING Ru-niu¹

1. College of Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract The technology of image grabbing and image processing for citrus grading was studied. Four pictures were grabbed for each orange from different perspective, a grading algorithm based on citrus color and texture features of four profiles was developed to identify the grade of the citrus efficiently. The experiment take the result of sense evaluation with manpower as grading criterion, and sixty patterns were graded with probabilistic neural network (PNN). The test result showed that the whole discriminating rate was up to 85%, and the rates of first class and fourth class were higher than the rates of second and third classes.

Key words citrus; grading; sense evaluation; color and texture; probabilistic neural network

(责任编辑:陈红叶)