

Method for Obtaining Characteristic Parameters of Potato Image Based on Machine Vision

Zouzou Li¹, Hongjun Wang^{1†}, Juntao Xiong², Jianmeng Deng¹, Yuanhong Li¹, Weiliang Zhou¹

1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou, 510642, China

2. College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

†Email: xtwjh@scau.edu.cn

Abstract

Potato is the fourth most worldwide crop in the world after wheat, corn and rice. Classification of potatoes is thought to produce greater economic benefits. The current grading methods mainly relies on artificial methods which is not stable and expensive. In recent years, machine vision technologies have been widely used in the field of agriculture, especially achieved great results in the field of agricultural products classification. Machine vision could classify different varieties of agricultural products based on color, volume, quality and other characteristics. For the same variety of potatoes, the shape type and weight range could be graded by the external dimensions. For this purpose, a set of machine vision system was designed, including CCD camera, image acquisition card, computer system, LED light source, two mirrors placed into V type, as well as MATLAB software for image processing and Unscramble software for data analysis. Photos were processed into binary images with MATLAB software. Each number of pixels of target area can be counted as its area. The minimum external rectangle of each target area was obtained for calculating its length and width. The area, length and width were regarded as the image characteristic parameters of the target area. A binary image contains three target areas, for which a photo can be obtained nine characteristic parameters. Data sets based on these characteristics were obtained from 100 potato samples. These data sets were analyzed to verify the correctness of the method with Unscramble software.

Keywords: Machine Vision System; Three Surface Projections; Image Processing; Minimum Enclosing Rectangle; Image Characteristic Parameters

基于机器视觉的马铃薯图像特征参数获取方法*

黎邹邹¹, 王红军¹, 熊俊涛², 邓建猛¹, 黎源鸿¹, 周伟亮¹

1. 华南农业大学工程学院, 广东 广州 510642

2. 华南农业大学数信学院, 广东 广州 510642

摘要: 目前马铃薯的分级方法主要还是以人工为主, 而人工分级普遍存在不稳定性, 费时成本高, 依赖人的主观经验等。近些年来, 机器视觉技术在农业领域取得了广泛的应用, 尤其是农产品分级领域取得了较多的成果。机器视觉技术具有无损害、经济性好、精确率高等优点。对于马铃薯分类, 可以从外观尺寸上判断马铃薯的形状类型和重量范围。人工分级时, 通过观察不同马铃薯样本的不同横截面大小, 就可以主观上判断出马铃薯的形状类型, 大致评估质量范围。基于人工分级的特点, 通过机器视觉进行分级, 只需获得不同横截面的投影, 通过提取图像特征参数的方式来对这些横截面进行定量分析, 就可以模拟人工分级的模式对马铃薯进行基于机器视觉的自动分级。本文设计了一套机器视觉系统, 分别获取马铃薯平放时的图片与竖放时的图片, 以获取最大横截面与最小横截面的投影。采集图片并对得到的照片进行图像处理, 得到只有目标区域和背景的二值化图像。从一副图像中获得9个特征, 然后通过100个马铃薯样本得到

*基金资助: 受广东省科技攻关项目 (2016A010102013)、广东省科技攻关项目 (2014A010104011)支持资助。

了基于这些特征的数据集。利用软件 Unscramble 对这些数据集进行分析，以验证方法的合理性。

关键词：机器视觉系统；三面投影；图像处理；最小外接矩形；特征参数

引言

马铃薯是全球重要的粮食作物。随着经济全球化的进行，对马铃薯进行等级分级可以产生更大的经济效益。传统的分级方法以人工为主，而且人工的方法普遍存在成本高，需要专家经验，效果不稳定等缺点。计算机视觉技术就是指用摄影机和电脑代替人眼对目标进行识别、跟踪和测量等机器视觉，并进一步做图形处理，使电脑处理成为更适合人眼观察或传送给仪器检测的图像。具有无损害，实时性好等优点。计算机视觉技术在农产品分级领域不断取得了很好的效果^[1-4]。美国的 Tao 等在 1995 年基于傅里叶的方法对马铃薯的形状进行分级，与人工的一致率达到了 89%^[5]。Heinemann 等设计了一种马铃薯的大小和形状进行分级的自动检测装置，采用 8 领域跟踪算法和傅里叶描述子进行评估，试验表明该系统完全满足实际生产要求^[6]。Marchant 等在 1988 年研发了一种马铃薯分级的机器视觉系统，该系统每秒钟可以对 40 个马铃薯进行分级，但分级的正确率还不能满足实际的需要^[7]。虞晓娟等在 2009 年提出了一种受品种影响很小的基于色度阈划分的马铃薯绿皮检测方法，试验结果表明该方法识别率高,而且稳定性强^[8]。郝敏、麻硕士等人在 2009 年通过筛选 19 个 Zernike 特征参数构建支持向量机预测模型，对薯形良好和畸形的检测准确率达 93%和 100%,能够满足实际检测的要求^[9]。本文探讨了利用机器视觉来获取马铃薯的图像特征参数的过程。基于人工分级的特点，可以通过 CCD 获得土豆不同横截面的投影。通过图像处理算法提取图像特征参数来对这些横截面进行定量分析，就可以模拟人工分级的模式对马铃薯进行基于机器视觉的自动分级。为了满足实际自动分级生产线要求有较高的分级速度的作业要求，希望相机一次取样就可以得到需要的信息。本文采用一对成 V 形摆放的镜子来获取一个马铃薯样本在不同平面上的投影信息，把单个马铃薯样本竖立放在 V 形镜中间，然后把 CCD 摄像头摆放在马铃薯的正上方，这样一次拍摄即可获得一个马铃薯的三面投影。首先通过 CCD 来获取马铃薯的三面图像，利用 k-mean 算法对马铃薯的区域进行分割。通过形态学处理获得最终只有目标和背景的二值化图像。构建目标区域的最小外接矩形。通过计算获得马铃薯俯视图像轮廓面积、两侧面轮廓图像面积、俯视及侧视图图像外接矩形长度及宽度数据。提取的马铃薯 9 个轮廓特征参数作为分级的基础数据。

1 实验平台的构建

1.1 硬件系统的构成

图像采集系统如图 1 所示。该系统采用 CCD 工业相机获取图像。四周横梁放置 4 根 LED 灯管光管以保持光线的稳定性。两面镜子成 V 型放置，以获取土豆在三个平面的投影。图像采集系统如图 1 所示。

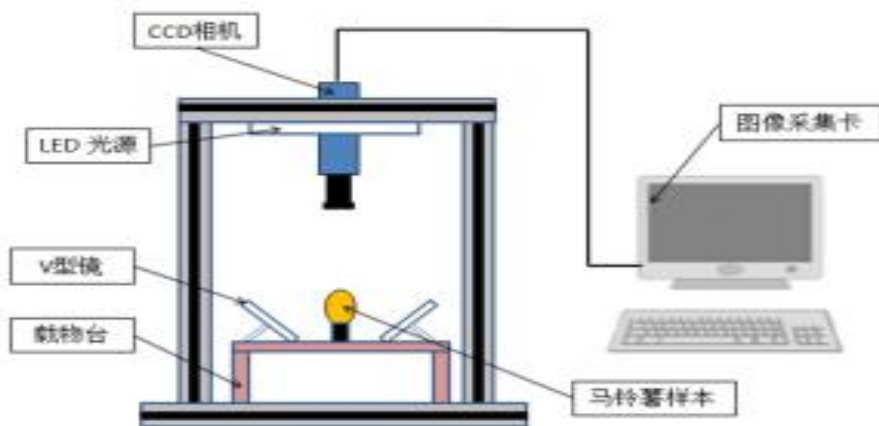


图 1 图像采集硬件系统

1.2 V 型镜的成像原理

把两面镜子成 V 型摆放，马铃薯置于镜子的对称线上。假设两面镜子的夹角为 60° 。在图 2 中可以看到左边的图像时马铃薯在 mirror 1 中形成的虚像。右边的图像是马铃薯在 mirror 2 中形成的虚像。把 3 个马铃薯全部投影到与相机镜头平行的平面 A 中，则可得到投影图 L、M、R，如图 3。假设 b1、c1 与平面 A 平行，则左边图像在平面 b1 上的投影与 L 等价。右边图像在平面 c1 上的投影与 R 等价。又平面 b1 与 b2 关于 mirror1 对称，所以实像在平面 b2 上的投影等价于左虚像在平面 b1 上的投影。可以进一步推出实像在 b2 上的投影等价于左虚像在平面 A 上的投影。同理可证，实像在 c2 平面上的投影等价于 R。实像在平面 d 上的投影等价于 M。所以 L、M、R 很好的反映了马铃薯在 3 个互成 60° 平面上的投影。而这 3 个投影可以很好的表达马铃薯整体的轮廓信息。

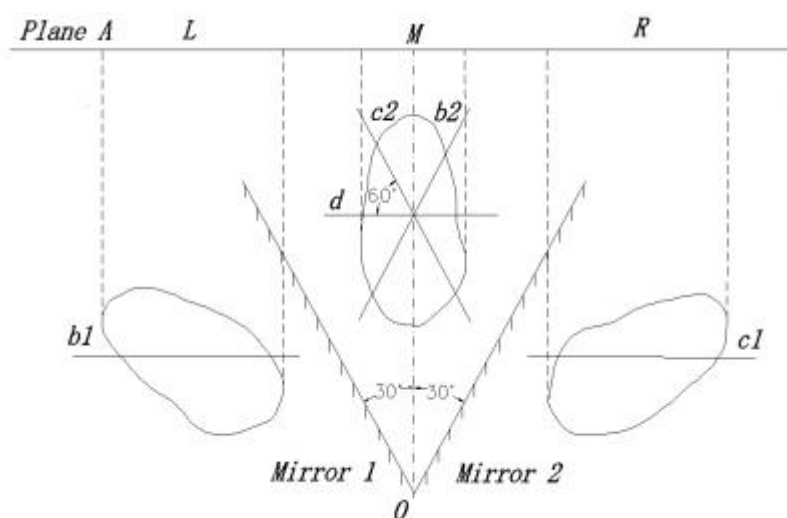


图 2 V 型镜的成像原理

马铃薯的实像和两个虚像在平面 A 上的投影如图 3 所示。

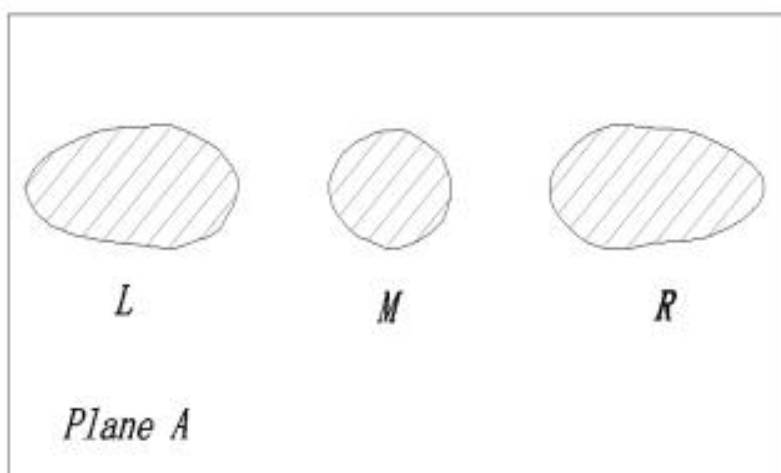


图 3 平面 A 上的投影图

1.3 图像分析及数据处理软件

采用工业 CCD 相机采集马铃薯采集到的马铃薯原始图片为 256 级的 RGB 彩色图像，如图 4 所示。用 MATLAB 7.0 的图像处理工具箱对原始图片进行预处理和形态学处理，得到马铃薯和背景的二值化图像。获

取马铃薯区域的最小外接矩形，统计区域面积和外接矩形的长和宽作为土豆形状的特征参数。最后，采用 Unscramble 软件进行获取的特征参数进行数据回归处理。

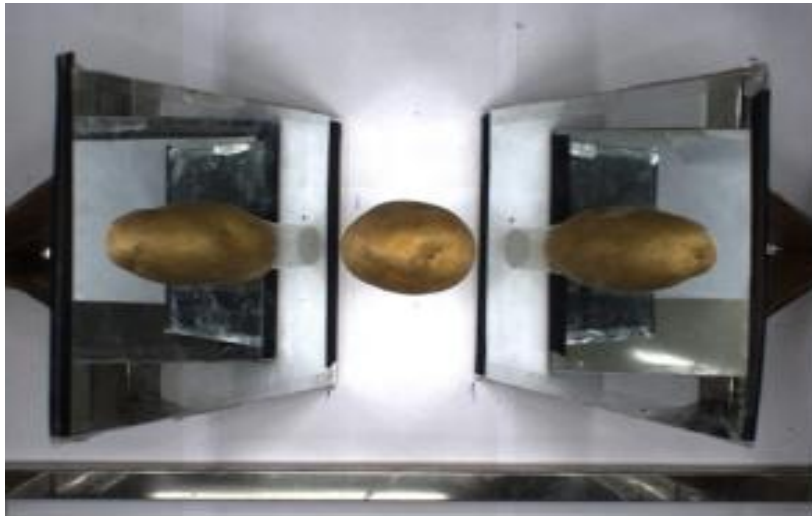


图 4 CCD 相机获取的原始图像

2 实验平台的构建

2.1 YCbCr 颜色模型

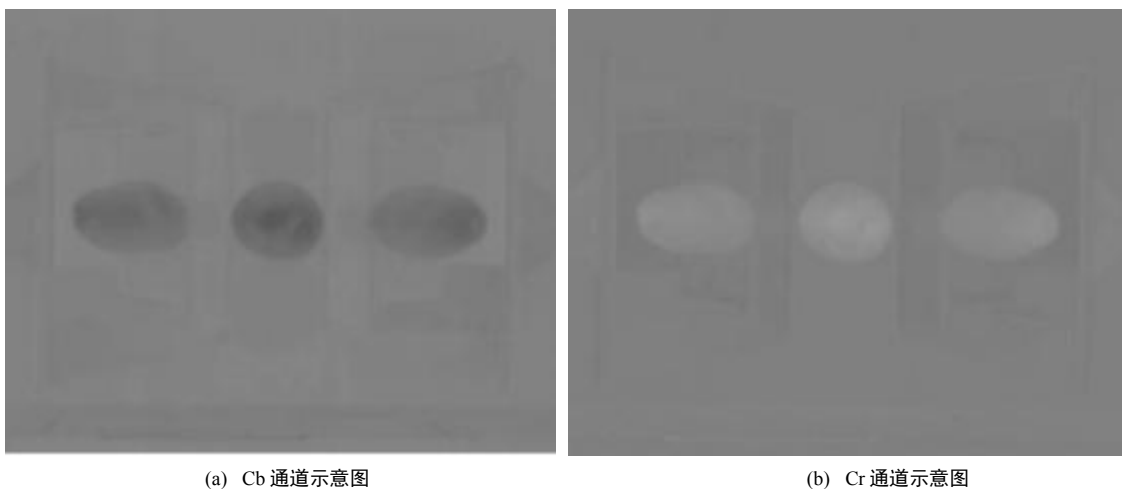
由 CCD 相机获取的图片是 RGB 格式的，而在实际做图像的颜色分割时，用 YCbCr 格式往往能达到更好的效果。其中 Y 是指亮度分量，CB 指蓝色色度分量，而 CR 指红色色度分量。我们先把 RGB 格式的图片转变为 YCbCr 格式。RGB 转换为 YCbCr 的公式如下：

$$Y = 0.257 * R + 0.504 * G + 0.098 * B + 16 \quad (1)$$

$$Cb = -0.148 * R - 0.291 * G + 0.439 * B - 128 \quad (2)$$

$$Cr = 0.439 * R - 0.368 * G - 0.071 * B + 128 \quad (3)$$

对于每个坐标点[x,y]都具有 Y、Cb、Cr 三个标量值。其中图片在 Cb 通道下的可视化效果如图 5。在 Cr 通道下的可视化效果如图 5。可以发现马铃薯区域明显比背景暗。说明马铃薯的蓝色色度分量的值比较低。



(a) Cb 通道示意图

(b) Cr 通道示意图

图 5 原始图片在 Cb 和 Cr 通道下的示意图

图 5 中马铃薯区域是需要得到的目标区域需要通过图像分割的算法把目标区域分割出来。可以把图中每个像

素看做单独的样本点。每个像素在两个通道上的值看做这个像素的两个特征属性。假如图片的行为 250，列为 400。则图片中一共有 100000 个样本点。建立由 Cb 和 Cr 组成的二维坐标系。把这些样本点根据属性值在坐标系中重新排列。样本分布情况如图 6 所示。

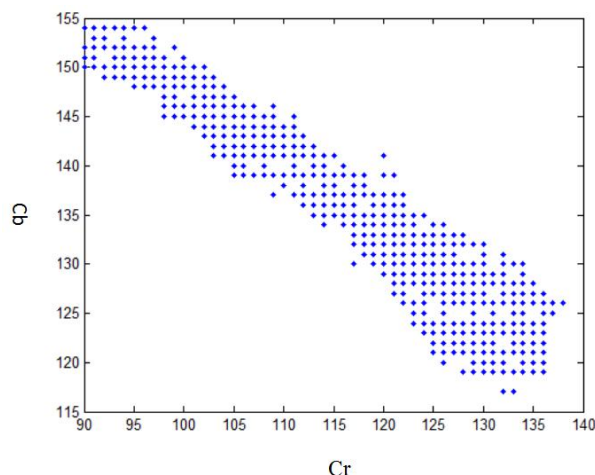


图 6 像素点在 Cb-Cr 坐标系中的排列示意图

2.2 基于 K-mean 的图像分割

K-mean 是基于数据划分的无监督聚类算法。假设有样本集合 $D = \{x_i\}_{i=1}^n$ ， $x_i \in R^d$ ，K-mean 的目标是将数据集划分为 k ($k < n$) 类：使划分后 k 个子集合满足类内的误差平方和最小：

$$\ell_{k-mean}(S) = \operatorname{argmin}_{S=\{S_i\}_{i=1}^k} \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x - c_i\|_2^2 \quad (4)$$

其中： $c_i = \frac{1}{|S_i|} \sum_{x \in S_i} x$ ，表示区域的中心。

通过 K-mean 可以把图 6 中的坐标点分为两类。K-Means 聚类算法主要分为三个步骤：第一步是随机寻找 n 个聚类中心；第二步是计算每个点到聚类中心的距离，将每个点聚类到离该点最近的聚类中去；第三步是计算每个聚类中所有点的坐标平均值，并将这个平均值作为新的聚类中心。反复执行第二步和第三步，直到聚类中心不再进行大范围移动或者聚类次数达到要求为止。根据实验的目标把类别数设置为 2，用 K-mean 算法对图 6 中的坐标点进行划分，分类效果如图 7 所示。

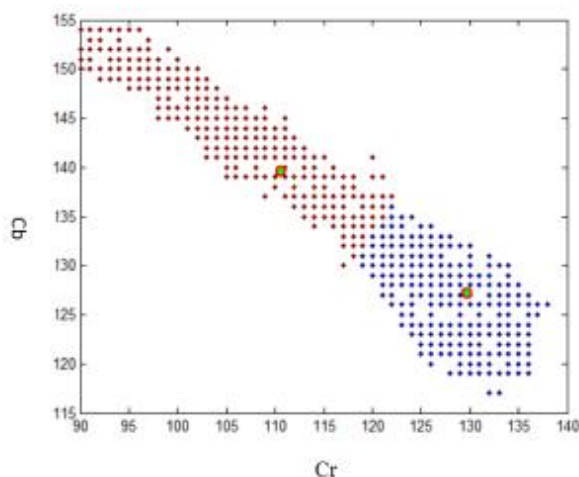


图 7 K-mean 算法的分类效果

根据图 7 中划分的结果，划分为不同类别的像素点用不同的颜色表示。原图中的像素点经过颜色转变后得到的效果如图 8 所示。

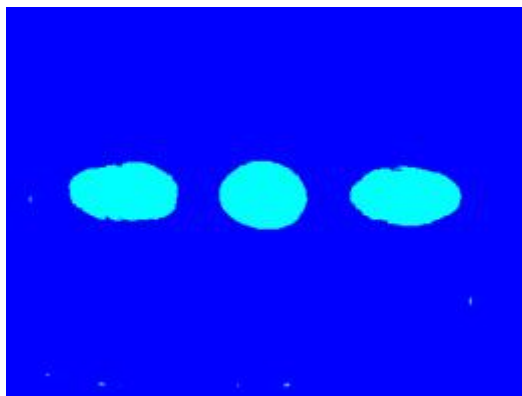


图 8 基于聚类的分类效果

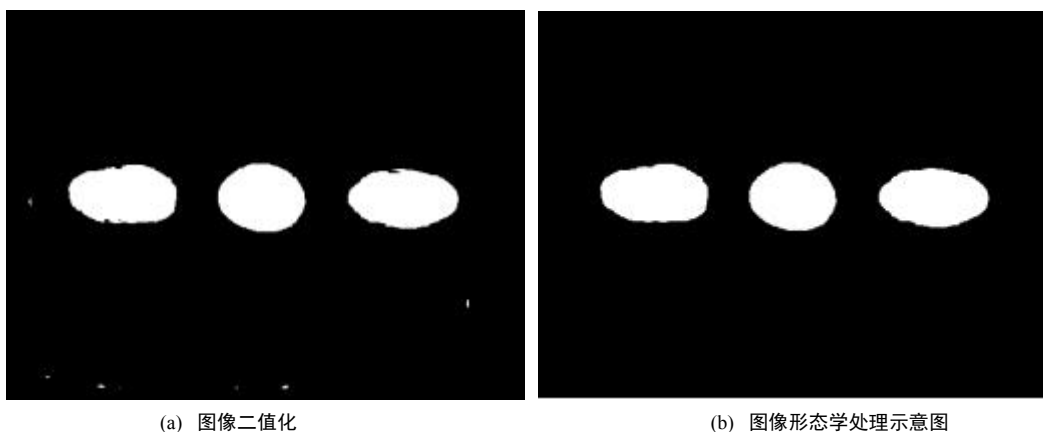
2.3 图像形态学处理

与目标一类的像素的灰度值设置为 1，另一类设置为 0，得到只有目标和背景的二值化图像，如图 9 (a) 所示。实际得到的目标区域边缘会不规则，同时背景中会有一些细小区域。通过腐蚀(Erosion)和膨胀(Dilation)处理，去除背景中较小的面积区域和，对目标区域边缘部分进行平滑。可以得到满意的二值图像。腐蚀的定义是：由 B 对 A 产生的腐蚀所产生的二值图像 E 是这样的点 (x,y) 的集合，如果 B 的原点位移到点 (x,y), 那么 B 将完全包含于 A 中。公式如(5)所示。膨胀的定义是：B 对 A 膨胀产生的二值图像 D 是这样的集合，如果 B 的原点位移到 (x,y)，那么它与 A 的交集非空。公式如 (6) 所示

$$E = A \ominus B = \{x, y \mid B_{xy} \subseteq A\} \quad (5)$$

$$D = A \oplus B = \{x, y \mid B_{xy} \cap A \neq \emptyset\} \quad (6)$$

二值化图像经过多轮腐蚀膨胀以后，目标区域边缘被规则化，背景中的细小不相关区域也被剔除。形态学处理的效果如图 9 (b)所示



(a) 图像二值化

(b) 图像形态学处理示意图

图 9 二值化图像的形态学处理示意图

3 特征参数的获取

获取目标区域的最小面积外接矩形，如图 7 所示。分别统计目标区域像素点的个数作为区域面积。再分别计算最小外接矩形的长和宽。 S_L 、 S_H 、 S_R 分别为 3 个区域的面积。 L_L 、 L_H 、 L_R 分别为 3 个区域外接矩形的长， W_L 、 W_H 、 W_R 分别为 3 个外接矩形的宽。到此我们用图像处理的方法从一个土豆样本获取了 9

个关于形状特征参数，如图 10 所示。

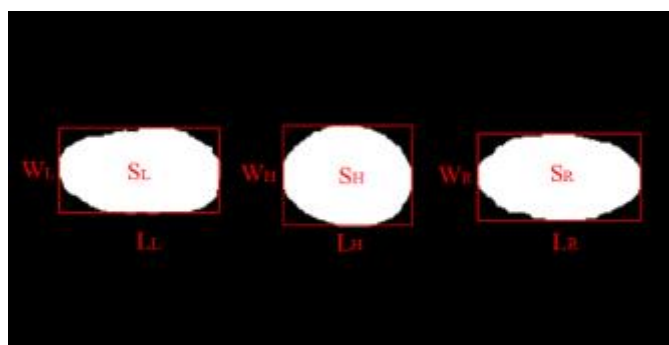


图 10 特征参数示意图

4 特征参数的验证

文中获取的特征参数可以反映马铃薯在 3 个不同平面的投影信息。而能否反映整个马铃薯的形状与体积信息，需要进一步验证。为此，王红军等选择了 100 个试验样本构建特征数据集。通过 Unscramble 软件对数据集进行主成分分析和多元线性回归分析，筛选出权重系数最大的特征，建立了关于质量和形状的分级预测模型。采用电子秤获取实际质量，人工目测法进行形状分类。利用 9 个图像特征参数，建立了马铃薯质量和形状预测模型。对比试验结果表明，质量分级的相关系数 R 为 0.991，形状分级分辨率为 86.7%^[10]。说明提取的图像特征参数对于马铃薯的质量和形状分级具有可行性。

5 结论

本文利用机器视觉技术，采用 V 形平面镜同时捕获马铃薯三面图像。经理论推导获取的三面图像反映了马铃薯在 3 个不同的平面上的投影。通过 K-mean 的方法分割出马铃薯图像并通过在二值化图像上进行形态学处理获得了具有平滑边缘的目标区域。分别计算出 3 个目标区域的最小外接矩形、目标区域的像素面积以及最小外接矩形的长和宽。以这 9 个参数作为马铃薯的图像特征参数，利用 9 个图像特征参数，建立了马铃薯质量和形状预测模型。对比人工方法，得出质量相关系数 R 为 0.991，形状分辨率为 86.7%的结果。说明这些特征参数马铃薯的质量和形状的分级具有很大的作用，对马铃薯的自动化分级具有很大的推动意义。

REFERENCES

- [1] Blasco, Cubero et al. "Development of a machine for the automatic sorting of pomegranate (*Punica granatum*) arils based on computer vision". *Journal of Food Engineering*. 2009, 90(1), 27–34.
- [2] Bai Xuebing, Chen Kai, Guo Jingqiu, et al. "Tree Image Segmentation Based on K-mean Clustering and Gray-gradient Maximum Entropy". *Forest Engineering*. 2014, 30(6), 84-88.
- [3] Lu Rong, Fan Yong, Chen Niannian, et al. "Fast Algorithm for Extracting Minimum Enclosing". *Computer Engineering*. 2010, 36(21), 178-180.
- [4] Liu Jinshuai, Lai Huicheng, Jia zhenhong. "Image Segmentation of Cotton Based on YCbCr Color Space and Fisher Discrimination Analysis". *Acta Agronomica Sinica*. 2011, 37(7), 1274–1279.
- [5] Tao, Morrow, P.H. Heinemann, et al. "Fourier-based separation technique for shape grading of potatoes using machine vision". *Transactions of the ASAE*. 1995, 38(5), 1555–1561.
- [6] Heinemann, Pathare, Morrow. "An automated inspection station for machine-vision grading of potatoes". *Machine Vision and Applications*. 1996, 9(1), 14–19.
- [7] Marchant, Onyango, Street. "High speed sorting of potatoes using computer vision". *ASAE Paper*. 1988, 88: 3540.

- [8] Yu Xiaojuan, Liao Guiping, Li Jinwei et al. "Greened potatoes detection based on hue threshold division". Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 25(Supp.2), 2009,314—319.
- [9] Hao Min, Ma Shuoshi, Hao Xiaodong. "Potato shape detection based on Zernike moments". Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2009,26(2), 347—350.
- [10] Wang Hongjun, Xiong Juntao, Li Zouzou, et al. "Potato grading method of weight and shape based on imaging characteristics parameters in machine vision system". Transactions of the Chinese Society of Agricultural. 2016,32(08), 272-277.

【作者简介】



¹黎邹邹（1991-），男，汉，硕士研究生，图像处理与机器视觉。

Email:1390685536@qq.com

²王红军（1966-），女，汉，博士，教授，研究方向为智能采摘机器人。

Email:xtwhj@scau.edu.cn.

³熊俊涛（1981-），男，汉族，博士副教授，研究方向为图像处理与机器视觉。Email:309283022@qq.com

⁴邓建猛（1991-），男，汉族，硕士研究生，研究方向为图像处理与机器视觉。

Email:1728283612@qq.com

⁵黎源鸿（1990-），男，汉族，硕士研究生，研究方向为图像处理与机器视觉。

Email:625267029@qq.com

⁶周伟亮（1994-），男，汉族，硕士研究生，研究方向为图像处理与机器视觉。

Email:799733220@qq.com