

# 基于RGB颜色模型的红富士苹果表皮红色区域检测

黄兆良 朱启兵

江南大学轻工过程先进控制教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122

**摘要** 水果的颜色是水果分级的重要依据,影响着消费者的购买欲望。研究了一种基于RGB颜色模型的红富士苹果表皮红色区域检测算法。通过苹果RGB图像的光照补偿,降低光照变化和不均匀性带来的影响。在此基础上,计算各像素 $R$ 、 $G$ 、 $B$ 分量的 $G/B$ 和 $R/G$ 比值,通过训练获得其分割阈值,实现苹果图像和背景的准确分割。最后用超红-超绿阈值分割法检测分割后的苹果图像的红色区域并计算其面积。实验结果表明:基于RGB颜色空间的红富士苹果表皮红色区域检测算法能够准确地检测出果皮表面的红色区域,满足红富士苹果颜色等级检测的需要。

**关键词** 图像处理; 苹果; RGB颜色模型; 颜色检测; 分级

中图分类号 TP391.4

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP53.041001

## Detection of Red Region of Fuji Apple Based on RGB Color Model

Huang Zhaoliang Zhu Qibing

Key Laboratory of Advanced Process Control for Light Industry of the Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China

**Abstract** Color of fruits is an important index for the classification of fruits, which will affect consumers' purchase desire. An algorithm based on RGB color model is studied to detect the red area of Fuji apple. The light compensation of image is used to reduce the effect of illumination change and nonuniformity of light source. Two parameters of  $R/G$  and  $G/B$  in RGB image are calculated, and the thresholds of these two parameters are obtained by using training samples to achieve accurate segmentation for apple and background. The excess red minus excess green threshold segmentation method is applied to detect and calculate the red region of apple surface. The experimental results show that the algorithm based on RGB color model is able to accurately detect the red area of the apple surface. The algorithm can meet the requirement of color grading detection of Fuji apples.

**Key words** image processing; apple; RGB color model; color detection; classification

**OCIS codes** 100.5010; 100.3008; 110.2970; 150.1708

## 1 引言

水果颜色反映水果的成熟度,与水果的内部品质(如糖度、酸度等)有着间接的联系<sup>[1-3]</sup>。水果的着色状况是水果分级的重要依据,影响着消费者的购买欲望<sup>[4-9]</sup>。随着机器视觉技术的发展,各种基于机器视觉技术的水果颜色分级算法被研究并报道。RGB颜色模型和色调、亮度、饱和度(HIS)颜色模型是目前计算机视觉中最为常用的两种颜色模型,由于HIS颜色模型更接近人眼感知色彩的颜色方式,且不容易受到光照强度变化的影响,因此现有的水果颜色分级算法多是基于HIS模型。李庆中等<sup>[10]</sup>通过将RGB模型转换为HIS颜色模型形成苹果的色度图像,并将其等分,求各区间上频度均值并作为苹果颜色的特征参数,用遗传算法实现多层前馈神经网络识别器的学习设计,从而实现苹果颜色的实时分级。冯斌等<sup>[11]</sup>利用水果在HIS颜色模型中色度分量 $H$ 的分形维数作为分级特征,建立了富士苹果颜色的人工神经网络识别模型。饶秀勤等<sup>[12]</sup>通

收稿日期: 2015-09-06; 收到修改稿日期: 2015-11-05; 网络出版日期: 2016-01-13

基金项目: 国家自然科学基金(61271384, 61275155)、江苏省自然科学基金(BK2011148)

作者简介: 黄兆良(1989—),男,硕士研究生,主要从事嵌入式应用、图像处理等方面的研究。

E-mail: huanglei890820@163.com

导师简介: 朱启兵(1973—),男,博士,教授,主要从事光谱图像处理、农产品无损检测等方面的研究。

E-mail: zhuqib@163.com(通信联系人)

过计算水果 HIS 颜色模型中色度分量  $H$  的面积加权,结合主成分分析与马氏距离判据,实现了水果的颜色分级。但是对于类球形水果,水果的光滑表面及其曲率变化会导致光照不均匀,从而带来色度分量的计算误差,并影响水果颜色的分级准确性<sup>[13]</sup>。为解决上述问题,李江波等<sup>[14]</sup>利用 B 样条亮度校正理论对类球形水果的 RGB 图像进行光强校正,并转化到 HIS 颜色模型进行颜色识别。但是该算法采用 B 样条曲线进行校正,仍然存在计算复杂的缺点。

红富士苹果是深受世界各地消费者喜爱的苹果品种之一,其产销量占苹果总销量的 50% 以上<sup>[15-17]</sup>。我国的国家标准 GB10651-89 对红富士苹果的色泽等级给出了具体的要求:优等品中鲜红、浓红的着色面积不小于 66%,一等品中鲜红、浓红的着色面积不小于 50%,二等品中鲜红、浓红的着色面积不小于 20%<sup>[18-19]</sup>。如何准确地检测出红富士苹果的红色区域,是红富士水果颜色分级的一个关键问题。本文为准确检测红富士苹果中红色区域,研究了一种基于 RGB 颜色空间的红富士苹果表皮红色区域检测算法,该算法直接在 RGB 颜色空间完成对苹果图像的阈值分割,之后基于超红-超绿阈值分割法<sup>[20]</sup>检测了分割后苹果图像的红色区域并计算了其面积。实验结果表明:基于 RGB 颜色空间的红富士苹果表皮红色区域检测算法能够准确地检测出果皮表面的红色区域,满足红富士苹果颜色等级检测的需要。

## 2 红富士苹果颜色检测算法

### 2.1 总体流程

按照国家标准,红富士苹果颜色的检测主要以苹果表面红颜色占整个苹果表面积的比例为衡量标准。因此,针对颜色的检测算法,需尽量精确地确定整个苹果的表面积和红色分量的面积。颜色检测整体流程如图 1 所示。

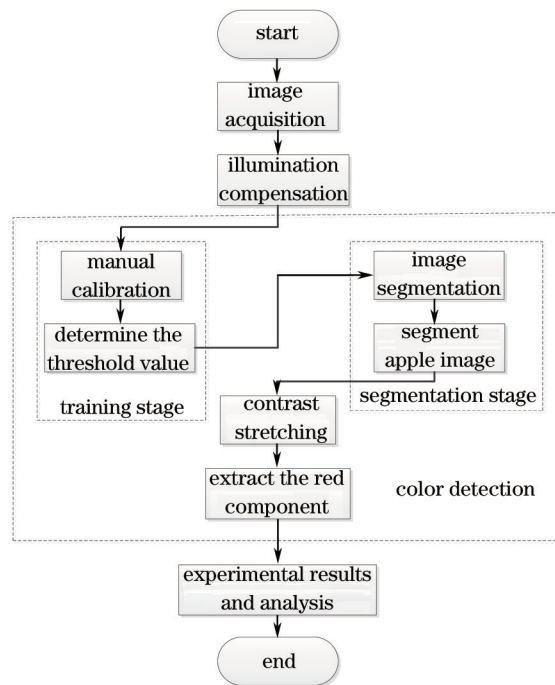


图 1 苹果颜色检测流程图

Fig.1 Flow chart of apple color detection

### 2.2 图像采集

研究所用图像采集系统具有快速实时采集的特点,可确保在线检测的顺利进行,图像采集系统结构示意图如图 2 所示。苹果图像采集系统由 CMOS 图像传感器(鼎易 CMOS,每秒最高可输出 30 帧,最高图像输出为 640 pixel × 480 pixel)、光源(F40BX/840 荧光灯,20 W)、暗箱和载物台构成。由于光源对苹果图像的采集起到关键作用,为了避免在图像采集时产生高光区和暗淡区,光源选择环形白色光,并且使用两个光源,为整个系统提供均匀的光照。

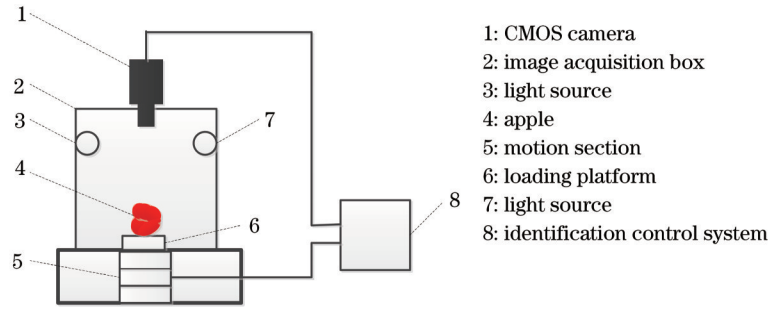


图2 图像采集系统结构示意图

Fig.2 Structure diagram of image acquisition system

### 2.3 光照补偿

虽然为系统提供了均匀光照,但由于苹果是类球形水果,其光滑表面及曲率变化会导致光照不均匀,为了使获取的二维图像更准确地反映苹果表面三维特征,需对采集到的苹果图像进行光照补偿。采用参考白算法<sup>[21]</sup>实现光照补偿,其具体操作如下:

1) 首先通过

$$\text{gray}(x,y) = 0.299 \times R(x,y) + 0.587 \times G(x,y) + 0.114 \times B(x,y), \quad (1)$$

计算获得原始RGB图像中像素  $(x,y)$  的灰度值  $\text{gray}(x,y)$ ;

2) 统计图像的256级灰度表,即对应每个灰度级的像素个数。按照灰度表中灰度值从高到低的顺序排序,计算前5%灰度级所对应的像素个数总和  $N$ 。若  $N \leq 100$  不作处理,若  $N > 100$ ,则这些像素构成集合  $\Omega$ ,并计算光照补偿系数  $\alpha$  为

$$\alpha = \frac{255 \times N}{\sum_{(x,y) \in \Omega} \text{gray}(x,y)}; \quad (2)$$

3) 对图像的各个像素分别进行  $R, G, B$  分量调整,将  $R, G, B$  分量分别与光照补偿系数  $\alpha$  相乘,若乘积大于255,则将该分量调整为255,否则保持不变。

图像处理过程如图3(a)、(b)所示,可以看出,采集到的苹果图像经过光照补偿后,与原始图像相比图像中的高光区和暗淡区减弱,有利于后续苹果红颜色特征的准确提取。

### 2.4 颜色检测算法

在苹果颜色检测算法中, HIS 颜色模型更能够反映色彩本质,也更符合人们对颜色的感知,但该方法需要进行RGB模型至HIS模型的空间转换运算,会在一定程度上增大运算量。而基于RGB颜色空间的算法不需要进行颜色空间的转换,就能够提高苹果颜色检测效率,因此采用RGB颜色模型,并在该颜色模型的基础上研究了一种新的苹果颜色检测算法,该算法包括苹果图像整体分割阶段和苹果红色特征分量提取计算阶段。

#### 2.4.1 苹果图像整体分割阶段

苹果图像整体轮廓的准确分割影响苹果颜色等级分类的准确性。传统的分割方法存在分割精度不高、抗噪性较差等问题。本文采用阈值学习的方法,对苹果图像进行轮廓分割,包括阈值学习定标和分割两个阶段。

在阈值学习定标阶段,利用  $M$  个人工标记的苹果图像。假设第  $k(k=1,2,\dots,M)$  个训练图像中每个像素点为  $P(i,j)$ ,根据苹果的颜色特点,定义两个颜色分量比率为

$$V_{\text{Ratio1}}(i,j) = \frac{R(i,j)}{G(i,j)}, \quad V_{\text{Ratio2}}(i,j) = \frac{G(i,j)}{B(i,j)}, \quad (3)$$

式中  $R(i,j)$ 、 $G(i,j)$  和  $B(i,j)$  分别为像素点  $P(i,j)$  的红色、绿色和蓝色分量值。当像素点  $P(i,j)$  属于背景时,将  $V_{\text{Ratio1}}(i,j)$  和  $V_{\text{Ratio2}}(i,j)$  的值设为0,当像素点  $P(i,j)$  属于苹果时,则保持  $V_{\text{Ratio1}}(i,j)$  和  $V_{\text{Ratio2}}(i,j)$  的值不变。统计  $M$  幅训练图像对应的  $V_{\text{Ratio1}}(i,j)$  和  $V_{\text{Ratio2}}(i,j)$ ,定义两个分割阈值为

$$T_1 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left[ \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J V_{\text{Ratio1}}(i,j)}{I \times J} \right], \quad T_2 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left[ \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J V_{\text{Ratio2}}(i,j)}{I \times J} \right], \quad (4)$$

式中  $I$  为每幅图像的长度,  $J$  为每幅图像的宽度。

$$\begin{cases} P(x,y) \text{ belongs to apple; if } V_{\text{Ratio1}}(x,y) > T_1, V_{\text{Ratio2}}(x,y) > T_2 \\ P(x,y) \text{ belongs to background; else} \end{cases} \quad (5)$$

确定分割阈值  $T_1$  和  $T_2$  后, 对于任意一幅待分割的苹果图像, 可依据(5)式来判断像素  $P(x,y)$  属于背景或苹果。

当像素  $P(x,y)$  属于苹果时, 保持  $R(x,y)$ ,  $G(x,y)$  和  $B(x,y)$  的值, 当像素  $P(x,y)$  属于背景时, 则将三个分量的值都设置为 0, 最终得到苹果分割图像。图 3 给出了部分苹果的分割效果图。为了方便比较, 图中也给出了基于最大类间方差法(OTSU)和采用彩色图像  $R$  分量 OTSU 法的分割效果图。

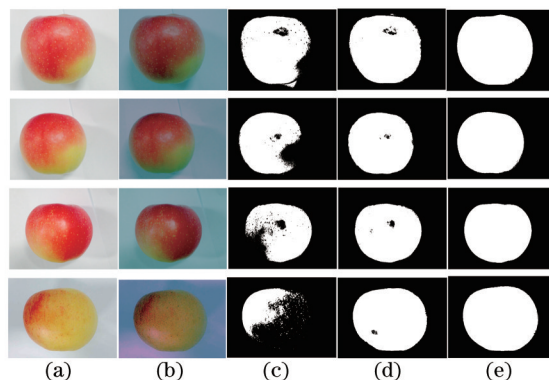


图 3 苹果分割后的图像。(a) 苹果原始图像; (b) 光照补偿后图像; (c) OTSU 分割图像; (d)  $R$  分量 OTSU 法分割图; (e) 训练阈值分割图

Fig.3 Apple segmentation images. (a) Original apple images; (b) images after illumination compensation; (c) images by OTSU segmentation; (d) images by  $R$  component OTSU segmentation; (e) images by training threshold segmentation

如图 3(c)所示, 用 OTSU 不能够完全将苹果与背景进行分割, 苹果绿色部分和表面反光部分没有被正确分割, 并且背景阴影处也对算法造成了很大干扰。由图 3(d)可以看出, 采用彩色图像  $R$  分量 OTSU 法基本能够将苹果与背景分割开, 但表面反光部分仍无法被正确分割, 且苹果边缘部分的提取误差较大。图 3(e)显示本文引入的阈值学习算法的效果较传统的分割算法有很大改进, 不仅抗干扰能力强, 且在提取边缘部分时也较为准确。

#### 2.4.2 苹果红色特征分量提取计算阶段

利用直方图均衡化方法对分割图像进行对比度拉伸<sup>[22-26]</sup>, 实现图像增强, 扩大苹果表皮的颜色差异, 提高苹果图像红色特征提取的准确性。苹果颜色的检测主要是确定苹果表面红颜色占整个苹果表面积的比例。将苹果图像进行分割和对比度拉伸后, 通过 RGB 颜色空间超红-超绿色指标( $\text{ExR}-\text{ExG}$ )将苹果图像中红色特征分量提取出来。当  $V_{\text{ExR}} - V_{\text{ExG}} > 0$  时, 为苹果红颜色区域像素, 其中  $V_{\text{ExR}}$  和  $V_{\text{ExG}}$  表达式为

$$V_{\text{ExR}} = 2R - G - B, \quad V_{\text{ExG}} = 1.4G - R. \quad (6)$$

如图 4 所示, 在 HIS 模型下利用色度值  $H$  分量提取苹果表面红颜色失真较为严重, 甚至无法提取苹果表面颜色较为鲜红的部分。在 RGB 模型下用超红-超绿阈值分割法提取苹果表面红颜色效果有明显提升, 但苹果表面反光部分仍无法正确提取, 将图像进行对比度拉伸之后再行颜色提取, 几乎能够正确提取出苹果表面红色部分, 效果很好。

### 3 基于颜色的苹果等级划分实验

实验选用 30 个优等品, 50 个一等品, 20 个二等品的红富士苹果作为实验对象。采集苹果正面及两个侧面三幅图像, 这三幅图像基本可保证完整无空隙地采集苹果表面颜色分布信息。利用颜色检测算法提取每幅苹果图像中红色分量像素及苹果像素, 计算三幅苹果图像中红色分量的像素总数和苹果像素总数, 再用红色分量像素总数除以苹果的像素总数, 得到苹果表面红色分量占整个苹果表面积的百分比, 最后按照国家标准对红富士苹果色泽等级进行分级。图 5 所示为基于 RGB 颜色模型以及传统的基于 HIS 颜色模型的颜色检测结果, 其中, 苹果样本 1~30 为优等品, 31~80 为一等品, 81~100 为二等品。表 1 所示为实验选用的



100个红富士苹果的分级结果。

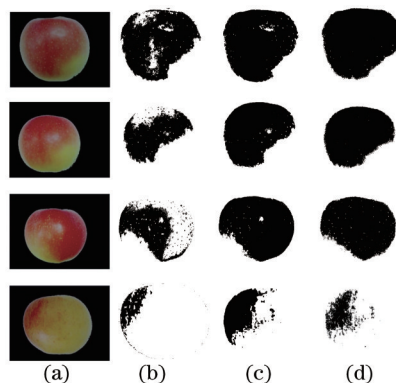


图4 颜色检测图像处理结果图。(a) 苹果分割图;(b) 传统HIS方法下红色分量;  
(c) ExR-ExG红色分量图;(d) 对比度拉伸后ExR-ExG红色分量图

Fig.4 Processing results of color detection. (a) Apple segmentation images; (b) images of red component by traditional HIS method; (c) images of red component by ExR-ExG; (d) images of red component by ExR-ExG after contrast stretching

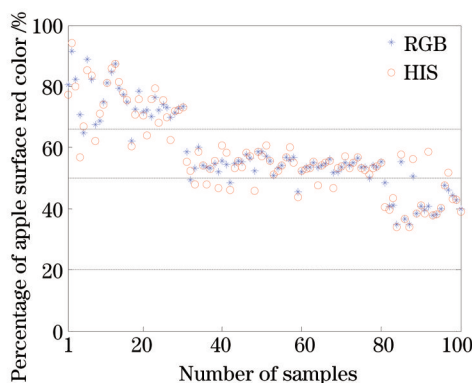


图5 苹果颜色检测结果

Fig.5 Apple color detection results

表1 苹果颜色检测分级结果

Table 1 Apple color grading results

	Premium grade		First grade		Second grade	
	RGB model	HIS model	RGB model	HIS model	RGB model	HIS model
Premium grade (30)	28(93.3%)	25(83.3%)	2(6.7%)	5(16.7%)	0	0
First grade (50)	0	0	47(94%)	42(84%)	3(6%)	8(16%)
Second grade (20)	0	0	2(10%)	4(20%)	18(90%)	16(80%)

从图5和表1可以看出,对于100个实验样品,基于RGB颜色模型的颜色平均分类正确率为93%,高于传统的基于HIS颜色模型的83%。其对于各等级的苹果分类,最低分类精度达到90%,优于传统方法。说明本文所提出的检测算法能够较准确地反映苹果的表面着色面积百分比特征。

## 4 结 论

针对目前苹果颜色检测分级准确度不高、稳定性差、光照敏感等问题,结合机器视觉技术和数字图像处理技术,研究了一种采用RGB颜色空间,基于阈值分割算法的红富士苹果颜色检测算法,对苹果表面红颜色进行提取和检测。在分割阶段中,采用训练阈值分割苹果图像,结果表明,该方法不仅能够准确地分割苹果与背景,且分割边缘也较为平整。采用了RGB颜色空间超红色-超绿色指标计算苹果表皮红颜色,与在HIS模型中利用H分量提取苹果表面红颜色的传统方法相比,该算法对光照敏感度较低,不会造成发亮区域颜色信息丢失,对红颜色的提取更为精确,与人工分类结果一致性较高,分级一致性在90%以上。基于RGB颜色空间的红富士苹果表皮红色区域检测算法能够准确地检测出果皮表面的红色区域,抗干扰能力强,具备良好的稳定性,在水果品质检测等领域有着广泛的应用前景。

## 参考文献

- 1 Liu Yande. Study on Methods of Nondestructive Measurement of Sugar Content and Acidity in Fruits Using Near-Infrared Spectroscopy[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006: 1-15.  
刘燕德. 水果糖度和酸度的近红外光谱无损检测研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006: 1-15.
- 2 Liu Peng, Tu Kang, Pan Leiqing, *et al.*. Persimmon's surface defect recognition based on machine vision fuzzy clustering [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(s2): 138-144.  
刘 鹏, 屠 康, 潘磊庆, 等. 基于模糊机器视觉聚类的柿果表面缺陷识别研究[J]. *光学学报*, 2009, 29(s2): 138-144.
- 3 Han Donghai, Wang Jiahua. Review of nondestructive measurement of fruit quality by means of near infrared spectroscopy [J]. *Chinese J Lasers*, 2008, 35(8): 1123-1131.  
韩东海, 王加华. 水果内部品质近红外光谱无损检测研究进展[J]. *中国激光*, 2008, 35(8): 1123-1131.
- 4 Mizushima A, Lu R. A low-cost color vision system for automatic estimation of apple fruit orientation and maximum equatorial diameter[J]. *Transactions of the ASABE*, 2013, 56(3): 813-827.
- 5 Warner G. Super-efficient picking system[J]. *Good Fruit Grower*, 2009, 60(2): 28-29.
- 6 Zhou J, Yin H, Liu J, *et al.*. Method of image fusion for apple surface quality detection[C]. *International Conference on Automatic Control & Artificial Intelligence*, 2012: 1339-1342.
- 7 Bennedsen B S, Peterson D L, Tabb A. Identifying defects in images of rotating apples[J]. *Computer and Electronics in Agriculture*, 2005, 2(48): 92-102.
- 8 Wachs J P, Stern H I, Burks T. Low and high-level visual feature-based apple detection from multi-modal images[J]. *Precision Agriculture*, 2010, 11(6): 717-735.
- 9 Zhou Wei, Liu Gang, Ma Xiaodan, *et al.*. Study on multi-image registration of apple tree at different growth stages[J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(2): 0215001.  
周 薇, 刘 刚, 马晓丹, 等. 不同生长时期果树多源图像的配准方法研究[J]. *光学学报*, 2014, 34(2): 0215001.
- 10 Li Qingzhong, Zhang Man, Wang Maohua. Real-time apple color grading based on genetic neural network[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2000, 5(9): 779-784.  
李庆中, 张 漫, 汪懋华. 基于遗传神经网络的苹果颜色实时分级方法[J]. *中国图像图形学报*, 2000, 5(9): 779-784.
- 11 Feng Bin, Wang Maohua. Computer vision classification of fruit based on fractal color[J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(2): 141-144.  
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.
- 12 Rao Xiuqin, Ying Yibin. Grading a fruit by its surface color[J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2009, 43(5): 869-871.  
饶秀勤, 应义斌. 水果按表面颜色分级的方法[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2009, 43(5): 869-871.
- 13 Mendoza F, Dejmek P, Aguilera J M. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2006, 41(3): 285-295.
- 14 Li Jiangbo, Huang Wenqian, Zhang Baohua. Correction algorithm of lighting non-uniformity on spherical fruit[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(4): 226-230.  
李江波, 黄文倩, 张保华. 类球形水果表皮颜色变化校正方法研究[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(4): 226-230.
- 15 Fu Peng. Research of the Key Technology of Apple Detection and Recognition Based on Machine Vision[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2012: 5-12.  
付 鹏. 基于机器视觉的苹果检测与识别关键技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012: 5-12.
- 16 Andris H L, Crisosto C. Improvement of 'Fuji' apple color and fruit size using reflective materials[J]. *Hortscience*, 1995, 30(4): 787.
- 17 Rao Xiuqin. Real-Time Inspection Technology of Fruit Quality Using Machine Vision[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007: 2-18.  
饶秀勤. 基于机器视觉的水果品质实时检测与分级生产线的关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007: 2-18.
- 18 Shen Baoguo, Wei Xinhua, Yin Jianjun. Apple diameter detection based on minimum circumcircle method[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2011, 33(12): 131-134.  
沈宝国, 魏新华, 尹建军. 基于最小外接圆法的苹果直径检测技术[J]. *农机化研究*, 2011, 33(12): 131-134.
- 19 Wang Jian, Li Shaofa. Study on computer vision grading based on apple coloration area[J]. *Computer Engineering and Design*, 2008, 29(14): 3813-3814.

- 王 建, 黎绍发. 基于苹果着色面积的计算机视觉分级技术研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(14): 3813-3814.
- 20 Meyer G E, Neto J C. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications[J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2008, 63(2): 282-293.
- 21 Hsu R L, Abdel-Mottaleb M, Jain A K. Face detection in color images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 696-706.
- 22 Wang C, Ma K K. Feature histogram equalization for feature contrast enhancement[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2015, 26: 255-264.
- 23 Chen Ying, Zhu Ming, Li Zhaoze. Remote sensing digital image enhancement based on Gaussian mixture modeling[J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(12): 1209002.
- 陈 莹, 朱 明, 李兆泽. 基于高斯混合模型的遥感数字图像增强[J]. 中国激光, 2014, 41(12): 1209002.
- 24 Zhao Wenda, Zhao Jian, Zhao Fan, *et al.*. Variable infrared image enhancement of bimodal Gaussian function specification [J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(3): 0309002.
- 赵文达, 赵 建, 赵 凡, 等. 双峰高斯函数规定化的变分红外图像增强[J]. 中国激光, 2014, 41(3): 0309002.
- 25 Zhou Yuren, Geng Aihui, Wang Ying, *et al.*. Contrast enhanced fusion of infrared and visible images[J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(9): 0909001.
- 周渝人, 耿爱辉, 王 莹, 等. 基于对比度增强的红外与可见光图像融合[J]. 中国激光, 2014, 41(9): 0909001.
- 26 Huang Sijie, Chen Fansheng, Liao Xingxing. A high dynamic range fusion method based on multi-exposure imaging[J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(s1): s109009.
- 黄思婕, 陈凡胜, 廖星星. 一种基于多次曝光的大动态范围图像融合方法[J]. 中国激光, 2014, 41(s1): s109009.

栏目编辑: 吴秀娟