

复杂背景下甜瓜果实分割算法

王玉德, 张学志

(曲阜师范大学物理工程学院, 曲阜 273165)

摘要:为解决复杂背景下甜瓜果实与背景图像分割的问题, 该文提出了一种融合颜色特征和纹理特征的图像分割算法。首先, 把采集到的甜瓜果实图像从 RGB 色彩空间分别转换到 CIELAB 和 HSV 色彩空间, 应用 a^*b^* 分量建立角度模型, 根据甜瓜果实的颜色特点选取阈值并对图像作二值化处理; 为降低光照分布不均匀对图像分割的影响, 采用 HSV 空间的 HS 颜色分量对果实图像进行阈值分割。在以上 2 种色彩空间分割的基础上, 融合角度模型分割和 HS 阈值分割的结果, 得到基于颜色特征的分割结果。然后, 再按照图像的纹理特征对图像进行分割处理, 融合按照颜色特征和纹理特征的分割结果。最后, 为解决分割结果中的分割误差和边缘毛刺问题, 以颜色特征分割的果实区域为限定条件, 对按照融合特征分割的果实区域进行约束性区域生长, 得到最终的图像分割结果。为了对该文提出算法的分割效果进行检验, 采用超绿阈值分割算法和归一化差异指数算法 (NDI) 对试验图像进行分割, 3 种算法的平均检出率分别为 83.24%、43.12%、99.09%。对比 3 种分割算法的检出率和误检率, 可以看出, 该文提出的算法试验结果明显优于超绿阈值分割算法和归一化差异指数 (NDI) 分割算法。

关键词: 水果; 图像分割; 图像融合; 特征提取; 约束区域生长

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.02.023

中图分类号: TN911.73

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-02-0176-06

王玉德, 张学志. 复杂背景下甜瓜果实分割算法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(2): 176—181.

Wang Yude, Zhang Xuezhi. Segmentation algorithm of muskmelon fruit with complex background[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(2): 176—181. (in Chinese with English abstract)

0 引言

图像分割是图像处理到图像分析的关键步骤, 分割结果的优劣直接影响着图像特征提取、目标分类等过程的性能。图像处理技术应用在农业生产中实现农业生产自动化, 必须解决农作物的图像分割问题。国内外学者对农作物的分割技术和方法进行了许多研究, 提出了很多的模型和方法。刁智华等^[1]使用超绿特征阈值分割模型实现复杂背景下棉花病叶害虫图像分割, 取得了不错的效果。Perez 等^[2]提出利用 RGB 模型颜色特征因子的组合 $(G-R)/(G+R)$ 将彩色图像转化为灰度图像, 实现了土壤和植物的分割。江海洋等^[3]提出了一种新的多域多相水平集方法, 解决了复杂背景下黄瓜叶片病斑分割问题。Zhou 等^[4]使用 RGB 和 HSI 色彩空间中的色差法 R-B 和 G-R 检测出果树上的苹果。韩殿元等^[5]提出了基于彩色通道相似性图像分割算法, 算法对叶片阴影、花斑等有很好的鲁棒性。Meyer 等

^[6]使用超绿特征阈值算法辨别杂草。D. Stajnko 等^[7]和 A. B. Payne 等^[8]使用归一化差异指数法 (normalized difference index, NDI) 分别实现了苹果和芒果与果树的分割, 估计了果树的产量。上述研究中, 主要利用颜色特征来实现农作物图像分割。

基于上述研究, 本文提出了一种融合颜色特征和纹理特征的图像分割算法, 实现在复杂背景下农作物果实与背景图像的有效分割。

1 图像处理基础理论

传统的图像分割技术受到硬件速度的制约, 通常是基于灰度图像进行处理的。彩色图像较灰度图像含有更丰富的信息, 基于彩色图像的图像分割的性能更高。

1.1 色彩空间模型

CIELAB 色彩空间又被称为 $L^*a^*b^*$ 色彩空间, 由 L^* , a^* 和 b^* 3 个坐标轴组成, 是一种均匀的颜色空间^[9,14,23], 适用于一切光源色或物体色的表示与计算。在 CIELAB 色彩空间中, 2 种颜色的视觉差异可以通过两点之间的距离来表示, 适合做图像分割和分析。在 $L^*a^*b^*$ 颜色空间中, 如图 1 所示, 一种颜色 E 在 a^*b^* 平面的投影点是 F, 过原点 O 和 F 点做直线 l , 它与 a^* 轴正方向的夹角是 β , β 的

收稿日期: 2013-06-21 修订日期: 2013-09-30

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目 (NO.ZR2010FM023)

作者简介: 王玉德 (1970—), 男, 山东临朐人, 副教授, 硕士生导师, 中国电子学会高级会员, 主要从图像处理与模式识别研究。曲阜静轩西路 57 号, 曲阜师范大学, 273165。Email: wyude-01@163.com

取值范围是 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。任何一种颜色, 在 $L^*a^*b^*$ 颜色空间中都对一个 β 值, 并且同一个 β 值对应的不同颜色相似。角度 β 的计算公式如式 (1)。

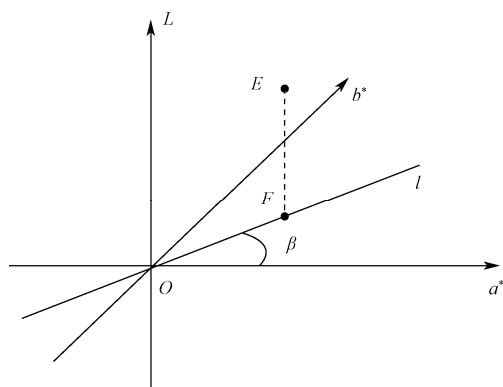


图1 角度模型
Fig.1 Angle model

$$\beta = \begin{cases} \frac{180^\circ}{\pi} \arctan(B/A) & (A > 0, B > 0) \\ \frac{180^\circ}{\pi} \arctan(B/A) + 180^\circ & (A < 0) \\ \frac{180^\circ}{\pi} \arctan(B/A) + 360^\circ & (A > 0, B < 0) \end{cases} \quad (1)$$

式中, B 是某一颜色在 $L^*a^*b^*$ 空间中的 b^* 分量, A 是其 a^* 分量, $\arctan(B/A)$ 的取值范围是从 -90° 到 $+90^\circ$, 而角度模型 β 的取值范围是 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

在 HSV 颜色空间中, H 为色调, 表示不同的颜色, S 为饱和度, 表示色彩的纯度, V 为亮度,

表示色彩的明亮程度。HSV 色彩空间的 3 个分量是相互独立的, 它的颜色和亮度信息是分离的。为了降低光照分布不均的影响, 使用 H 分量和 S 分量来提取颜色特征。

在颜色空间中可以融合 a^*b^* 分量与使用 H 分量、 S 分量提取的颜色特征, 建立基于颜色特征的图像分割模型。

1.2 纹理特征

Haralick 等提出的灰度共生矩阵法(gray level co-occurrence matrix, GLCM)是被广泛应用的纹理特征提取算法^[10-13,21], 常用的分析灰度共生矩阵的特征有能量、对比度和熵等。灰度共生矩阵用 2 个位置像素的联合概率密度定义的, 不仅反映了亮度的分布特性, 也反映了具有同样亮度或接近亮度的像素之间的位置分布特性, 是有关图像亮度变化的二阶统计特征。

对比度的定义为:

$$C = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (i-j)^2 P(i, j; d, \theta) \quad (2)$$

式中: L 表示图像的灰度级; i, j 表示像素的位置; d 表示 2 个像素点对的间隔距离, 也叫生长步长; θ 表示生长方向, 是像素点对的生长方向^[11-13]。

2 图像分割算法

为了有效地从复杂背景中精确地分割出果实和背景, 本文提出一种融合颜色特征和纹理特征的图像分割算法。算法流程如图 2 所示。

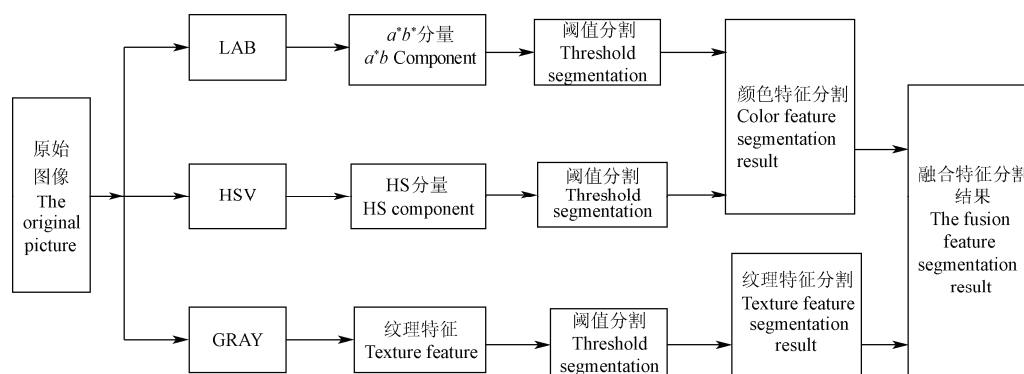


图2 算法流程图

Fig.2 Flow chart of algorithm

算法实现步骤为:

1) RGB 图像转换到 $L^*a^*b^*$ 空间, 使用 a^* 和 b^* 分量, 按照式 (1) 计算出 β 的数值, 选定 β 的取值范围, 甜瓜果实区域取值为 1, 其他区域取值为 0, 二值化处理得到图像 BW_{ab} 。

2) RGB 图像转换成 HSV 图像, 应用 H 分量和 S 分量建立果实与背景分割的模型, 设定阈值分

割得到二值图像 BW_{HS} 。

3) 对获取的 2 个颜色空间的分割结果 BW_{ab} 和 BW_{HS} 做与运算, 并作形态学处理得到由颜色特征所分割的甜瓜果实的二值图像 BW_{Color} 。

4) 提取图像的纹理特征, 按照式 (2) 计算对比度的数值, 设定对比度的取值范围, 得到按照纹理特征分割的二值图像 BW_{Tex} 。

5) 融合按颜色特征分割的 BW_{Color} 和按纹理特征分割的 BW_{Tex} 的结果, 在颜色特征分割结果 BW_{Color} 区域限定下做区域生长, 获取甜瓜果实与背景图像的分割结果。

在上述算法实现的基础上, 参照 George 的评价方法^[24], 使用 Photoshop 的磁性套索工具手工选取甜瓜的果实区域作为实际果实区域, 由式 (3)、(4) 计算应用算法进行果实分割的检出率和误检率, 定量评价算法的分割效果。检出率的计算公式如式(3)所示, 误检率的计算公式如式(4)所示。

$$\text{检出率} = \frac{BW \cap BW_{real}}{BW_{real}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{误检率} = \frac{BW - BW \cap BW_{real}}{BW_{real}} \times 100\% \quad (4)$$



a. 样本图片 1
a. The 1st sample picture



b. 样本图片 2
b. The 2nd sample picture



c. 样本图片 3
c. The 3rd sample picture

图 3 甜瓜图像

Fig.3 Pictures of muskmelon

选择现场采集的图片中具有代表性的部分图片 (如图 3 所示) 作为研究的对象, 选择的图片的背景复杂, 有甜瓜的叶、茎, 果树的支撑物以及塑料大棚的薄膜等, 果实有的隐藏在瓜叶内, 有的裸露在外, 且图片的照射角度不一样, 有的向阳, 有的背光。对典型的图片加以研究, 以验证提出算法的分割的有效性。

图 3 中试验图片从 RGB 空间转换到 $L^*a^*b^*$ 空间中, 应用 a^* 和 b^* 分量, 按照式 (1) 计算 β 的数值, 试验测量得当 β 取值为 $95^\circ \sim 120^\circ$ 时, 有较好的分割效果。选择 $\beta=95^\circ$ 二值化处理的下限, $\beta=120^\circ$ 作为图像二值化处理的上限, 图 3 中 3 幅试验图片的二值图像用 BW_{ab} 表示, 如图 4a~c 所示。

为降低光照分布不均匀的影响, 将图 3 中图片从 RGB 色彩空间转换到 HSV 色彩空间中, 应用颜色属性分量 H、S 提取颜色特征, 通过试验测量得到 H、S 分别在 $0.13 < H < 0.23$ 且 $0 < S < 0.53$ 时, 能够比较好地分割果实与背景。图 3 中 3 幅试验图片的二值图像用 BW_{HS} 表示, 如图 4d~f 所示。

观察图 4a~f, 可以看出应用色彩特征已经粗糙地将甜瓜果实从背景中提取出来了, 但分割的效果

式中: BW_{real} 是手工选取的实际果实区域, BW 是本文算法的分割结果。

3 结果与分析

试验图片为 2013 年 5 月 12 日在山东省济宁市喻屯镇谭口集甜瓜种植基地所拍摄的照片。在光照充足的甜瓜种植大棚中应用佳能 550D 单反数码相机拍摄试验图片, 图像尺寸为 5184×3456 , 为便于处理将图像尺寸调整为 900×600 像素。甜瓜果实图像背景十分复杂, 甜瓜分布杂乱, 有的被叶子遮挡, 存在土壤、塑料、人和吊绳的影响, 光照影响严重, 处于光照直射的果实的部分呈现白色; 光照透射叶子时, 造成叶子显示红绿色; 靠近叶子的甜瓜, 由于来自叶子的反射光, 部分呈现绿色的阴影, 存在尺寸、形状和颜色的差异, 部分采集图片如图 3 所示。

不是很好。由于光照的影响, 果实区域存在较大的洞。为了提高分割效果, 融合 $L^*a^*b^*$ 颜色特征和 HSV 颜色特征得到分割结果 BW_{all} , 并对其做形态学处理, 得到二值图像 BW_{Color} , 结果如图 4g~i 所示。

观察图 4g~i 可以看出, 果实中的洞已经消除了, 但是依然有部分背景区域被误判为果实区域。为改善分割效果, 通过提取图片的纹理特征进行分割。考虑到图像灰度共生矩阵的特征参数当生长步长 $d \geq 4$ 时特征参数的变化趋于稳定, 沿着纹理主方向的灰度共生矩阵的特征参数能够很好的体现纹理的方向信息^[11-13], 因此将图像转换成灰度图像, 分割成 10×10 的小块, 选择灰度级 $L=8$, 生长步长 $d=4$, 生长方向 $\theta=135^\circ$, 按照式 (2) 计算每个小块的灰度共生矩阵和对比度 C 。试验选择对比度 $C=0.68$ 为图像二值化处理的阈值, 二值化处理图像用 BW_{Tex} 表示。在应用纹理特征分割的基础上, 融合颜色特征和纹理特征分割结果得到二值化图像 BW_{CT} , 如图 4j~l 所示。

为消除图 4j~l 3 个样本图片的分割结果误差大、边缘毛刺多的问题, 把图像按色彩特征分割的结果作为限制条件, 做区域性生长得到图片的分割

结果 BW，如图 4m~o 所示。果实实际区域标定如图 4p~r 所示。

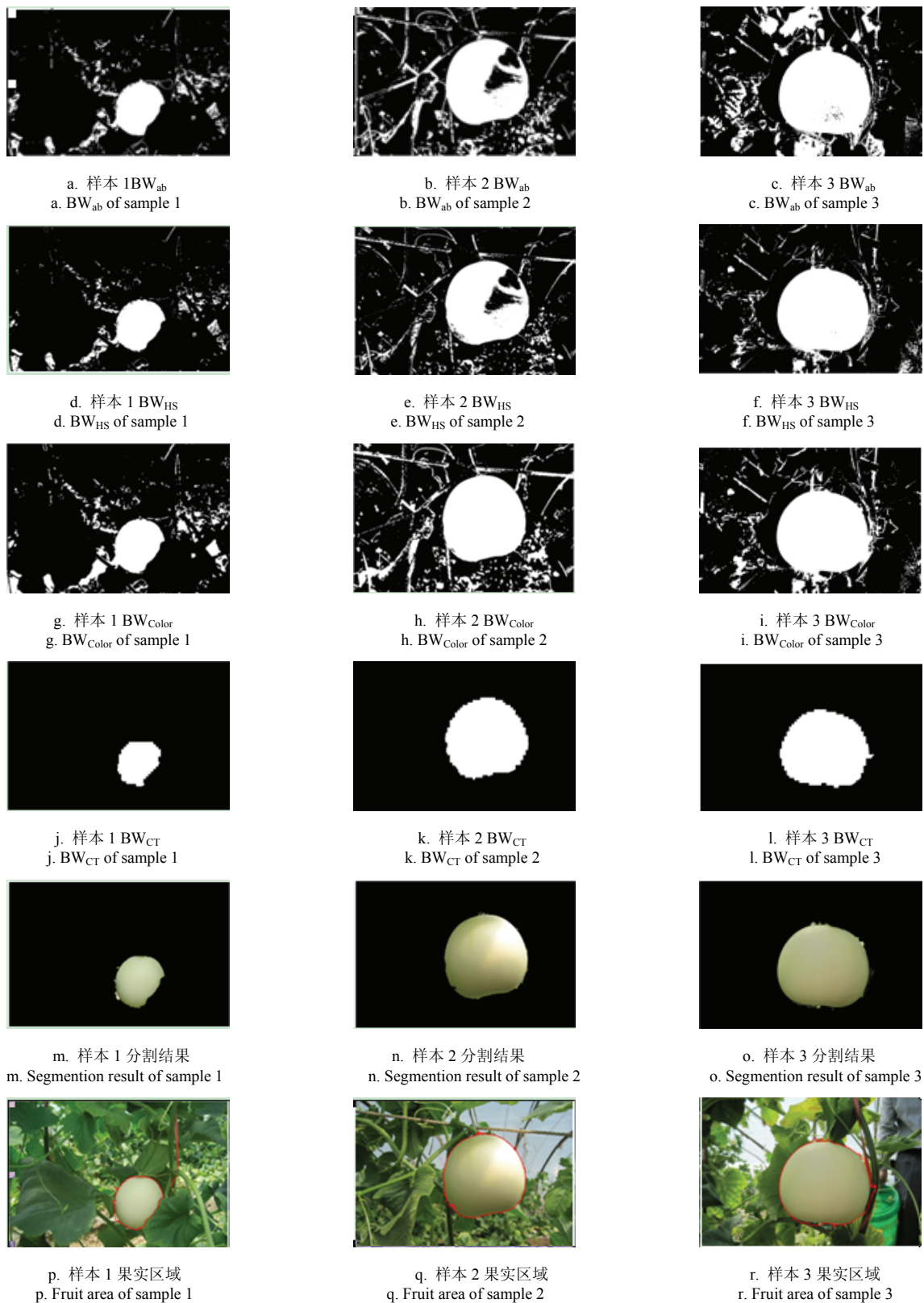


图 4 试验图片分割过程

Fig.4 Segmentation process of three samples

从图 4 可以看出，甜瓜果实与背景的分割效果好，果实的边缘平滑，按照算法分割的结果图 4m~o

与果实的实际标定结果图 4p~r 对比可以看到，分割出的果实区域与实际果实区域一致。

应用 Meyer 等^[6]提出的超绿特征阈值算法和 D. Stajanko 等^[7]、A. B. Payne 等^[8]提出的 NDI 分割算法对试验中的图片进行分割处理, 由式 (3)、(4) 计算果实分割的检出率和误检率, 与本文提出算法的分割结果进行对比, 定量评价算法的分割效果。分割结果的检出率与误检率与本文算法分割的结

果对比如表 1 所示。

从表 1 中 3 种分割算法的分割结果可以看出, 本文提出算法的甜瓜果实的检出率最高可达 99.97%, 误检率很低, 最大仅达 3.81%, 检出率明显高于超绿特征阈值算法和 NDI 算法, 误检率远低于超绿特征阈值分割和 NDI 算法分割。

表 1 样本的检出率和误检率
Table 1 Detection rates and error detection rate of samples

	超绿特征阈值算法 Super green feature threshold algorithm			NDI 分割算法 NDI segmentation algorithm			本文算法 Proposed segmentation algorithm		
	样本 1 Sample1	样本 2 Sample2	样本 3 Sample3	样本 1 Sample1	样本 2 Sample2	样本 3 Sample3	样本 1 Sample1	样本 2 Sample2	样本 3 Sample3
检出率 Detection Rate/%	75.53	78.35	95.84	5.678	77.99	45.70	97.67	99.62	99.97
误检率 Error detection rate/%	190.26	241.55	247.44	65.73	31.42	23.72	1.63	2.65	3.81

4 结 论

针对甜瓜果实的特点, 本文提出了一种融合颜色特征和纹理特征的甜瓜果实图像分割算法, 算法先利用 $L^*a^*b^*$ 色彩空间和 HSV 色彩空间模型分割图像, 去除大部分背景得到按颜色特征分割的果实区域; 使用灰度共生矩阵提取灰度图像的纹理特征, 得到纹理特征分割的果实区域; 融合颜色特征区域和纹理特征区域并做约束区域生长, 实现了甜瓜果实与背景的分割。该算法能够将甜瓜果实从复杂背景中准确地分割出来, 平均检出率可达 99.09%, 对于农产品果实分割算法的研究和农作物产量的估计研究具有一定的理论指导和实践意义。

参 考 文 献

- [1] 刁智华, 王 欢, 宋寅卯, 等. 复杂背景下棉花病叶害虫图像分割方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 147—152.
Diao Zhihua, Wang Huan, Song Yinmao, et al. Segmentation method for cotton mite disease image under complex background[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(5): 147—152. (in Chinese with English abstract)
- [2] Perez A J, Lopez F, Benlloch J V, et al. Color and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25(3): 197—212.
- [3] 江海洋, 张建, 袁媛, 等. 基于 MDMP-LSM 算法的黄瓜叶片病斑分割方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(21): 142—148.
Jiang Haiyang, Zhang Jian, Yuan Yuan, et al. Segmentation of cucumber disease leaf image based on MDMP-LSM[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(21): 142—148. (in Chinese with English abstract)
- [4] Zhou R, Damerow L, Sun Yurui, et al. Using colour features of cv. 'Gala' apple fruits in an orchard in image processing to predict yield[J]. Precision Agriculture, 2012, 13(5): 568—580.
- [5] 韩殿元, 黄心渊, 付慧. 基于彩色通道相似性图像分割方法的植物叶面积计算[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 179—183.
Han Dianyuan, Huang Xinyuan, Fu Hui. Measurement of plant leaf area based on image segmentation of color channel similarity[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(6): 179—183. (in Chinese with English abstract)
- [6] Meyer G E, Mehta T, Kocher M F, et al. Textural imaging and discriminant analysis for distinguishing weeds for spot spraying[J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(4): 1189—1197.
- [7] Stajanko D, Lakota M, Hocevar M. Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 42(1): 31—42.
- [8] Payne A B, Walsh K B, Subedi P P, et al. Estimation of mango crop yield using image analysis – Segmentation method[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 91: 57—64.
- [9] Ganesan P, Rajini V, Rajkumar R Immanuel. Segmentation and edge detection of color images using CIELAB color space and edge detectors[C]//Chennai, India, 2010 International Conference on Emerging Trends in Robotics and Communication Technologies, Sathyabama Univ., 2010: 393—397.
- [10] Haralick R M, Shanmngam K, Dinstein I. Texture feature for image classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man Cybernetics, 1973, 3(6): 610—621.
- [11] 王克奇, 陈立君, 王辉, 等. 基于空间灰度共生矩阵的木材纹理特征提取[J]. 森林工程, 2006, 22(1): 24—26.
Wang Keqi, Chen Lijun, Wang Hui, et al. The extraction of wood texture features based on spatial GLCM[J]. Forest Engineering, 2006, 22(1): 24—26. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李慧娜, 郭超峰, 平源. 灰度共生矩阵在指纹图像分割中的应用[J]. 数据采集与处理, 2012, 27(1): 63—66.
Li Huina, Guo Chaofeng, Ping Yuan. Application of gray level co-occurrence matrix for fingerprint segmentation[J].

- Journal of Data Acquisition & Processing, 2012, 27(1): 63—66. (in Chinese with English abstract)
- [13] 郭航, 霍宏涛. 灰度共生矩阵在皮肤纹理检测中的应用研究[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(7): 1074—1077.
- Guo Hang, Huo Hongtao. Research on the application of gray level co-occurrence matrix for skin texture detection[J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(7): 1074—1077. (in Chinese with English abstract)
- [14] Patel H N, Jain R K, Joshi M V. Fruit detection using improved multiple features based algorithm[J]. International Journal of Computer Applications, 2011, 13(2): 1—5.
- [15] Chun-Chieh Yang, Shiy O Prasher, Jacques-Andre Landry, et al. A vegetation localization algorithm for precision farming[J]. Biosystems Engineering, 2002, 81(2): 137—146.
- [16] Du Qian, Chang Nibin, Yang Chenghai, et al. Combination of multispectral remote sensing variable rate technology and environmental modeling for citrus pest management[J]. Journal of Environmental Management, 2008, 86(1): 14—26.
- [17] Paul Boissard, Vincent Martin, Sabine Moisan..A cognitive vision approach to early pest detection in greenhouse crops[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 62(2): 81—93.
- [18] Xu Guili, Zhang Fengling, Syed Ghafoor Shah. Use of leaf color images to identify nitrogen and potassium deficient tomatoes[J]. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(11): 1584—1590.
- [19] Wang Mulan, Liu Kun, Jiang Rong. Image recognition technology in intelligent cotton harvesting machine[J]. 2011 International Conference on Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences, 2001(2): 320—323.
- [20] Wang M L, Wei J D, Yuan J N, et al. A Research for Intelligent Cotton Picking Robot Based on Machine Vision[C]//The 2008 IEEE International Conference on Information and Automation, 2008: 800—803.
- [21] Stajnko D, Rakun J, Blanke M. Modeling apple fruit yield using image analysis for fruit colour, shape and texture[J]. European Journal of Horticultural Science, 2009, 74(6): 260—267.
- [22] Woebbecke D M, Meyer G E, Von Bargen K, et al. Plant species identification, size and enumeration using machine vision techniques on near-binary images[J]. SPIE Optics Agriculture and Forestry, 1992, 1836: 208—219.
- [23] Erhu Zhang, Yajun Chen, Jia Yu, et al. A study of image color quality evaluation based on S-CIELAB[C]//3rd International Congress on Image and Signal Processing(CISP), 2010, 3: 1110—1114.
- [24] George E M, Joao Camargo Neto. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging application[J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2008, 63(2): 282—293.

Segmentation algorithm of muskmelon fruit with complex background

Wang Yude, Zhang Xuezhi

(College of physical engineering, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract: In order to solve the problem of muskmelon fruit image segmentation under a complex background, an algorithm of image segmentation based on fusing color feature and texture feature was proposed in this paper. First, the collected muskmelon fruit images were transformed from RGB color space to CIELAB color space and HSV space respectively. According to the color characteristics of muskmelon fruit, the collected images were binarized using the threshold of angle model that was set up in using a^*b^* components in CIELAB color space. To reduce the influence of the uneven illumination distribution of segmentation, the H S components segmentation threshold was selected to binarize the collected images. Converging the results of the angle model segmentation and the HS weighted threshold segmentation, the results were obtained based on color feature segmentation. Then, the image texture features were extracted and the binarization images were obtained by using texture feature threshold. The segmentation results were achieved by fusing the texture features and the color feature segmentation result. Finally, taking the fruit color feature segmentation area as the qualification, the final segmentation results were obtained by binding growth based on the segmentation area that were obtained by fusing color features and texture features. In order to evaluate the effect of proposed algorithm, the collected images were segmented using the super green threshold algorithm and the NDI algorithm and the results were gained. The average detection rate of three algorithms were 83.24%, 43.12% and 99.09%, respectively. Comparing the results of the detection rate and false detection rate, the experimental results of the proposed algorithm were superior to super green feature segmentation and normalized difference index (NDI) segmentation algorithm.

Key words: fruits; image segmentation; image fusion; feature extraction; binding growth

(责任编辑: 信世强)