

# 复杂背景下甜瓜果实分割算法研究

物理学 专业学生 张学志

指导教师 王玉德

**摘要:** 为了解决复杂背景下甜瓜果实图像分割的问题,本文提出了一种结合颜色特征和纹理特征的图像分割算法。首先把彩色甜瓜图像从 RGB 色彩空间转换到 CIELAB 色彩空间和 HSV 色彩空间中,使用 a\*和 b\*分量建立角度模型,结合 H 分量和 S 分量,得到颜色特征甜瓜区域;然后使用灰度共生矩阵提取图像的纹理特征,得到纹理特征甜瓜区域,并与颜色特征甜瓜区域做与运算,得到双特征甜瓜区域;最后,通过约束区域生长,得到精确的果实区域。实验结果表明,本文提出的算法能在复杂背景下有效的提取甜瓜果实区域。

**关键词:** 甜瓜, 颜色特征, 纹理特征, 约束区域生长, 图像分割

## Research on Segmentation Algorithm of Muskmelon Fruit under Complex Background

Student majoring in Physics Xuezhi Zhang

Tutor Yude Wang

**Abstract:** This paper proposes an algorithm of image segmentation based on combination of color and texture feature, in order to solve the problem of melon fruit image segmentation under complex background. Firstly, Melon images are converted from the RGB color space to the CIELAB color space and HSV color space, h channel, s channel and angle model that is built on the a \* components and b \* components are combined ,and then melon regions of color features are got. Secondly, melon regions of texture features are got by extracting image texture features using Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM). Then melon regions of texture features and melon regions of color features are done and operation and melon regions of double features are got. Finally, accurate fruit areas are obtained by using region growing under limitation. Experimental results show that the proposed algorithm can effectively extract the region of muskmelon fruit under complex background.

**Key words:** Muskmelon; Color Feature; Texture Feature; Region Growing under Limitation; Image Segmentation

## 引言

农业是经济和社会可持续发展的基础,在国民经济中发挥着极其重要的作用。中国是世界上人口最多的国家,也是一个农业大国;我国人口数量是世界人

口总量的 22%，然而耕地面积却只有世界的 7%。因此，提高农业生产效率是解决土地相对人口不足问题的关键。

随着电子技术的迅速发展，图像处理技术逐渐被应用在农业生产<sup>[1-2]</sup>中，提高了农业自动化水平和农业生产的效率。例如，图像处理技术可以应用在病虫害识别<sup>[3-4]</sup>，自动收割<sup>[5-7]</sup>，产量预测<sup>[8-10]</sup>，水果自动分级等方面。

图像分割是将图像划分成若干个互不相交的有意义的小区域的过程。小区域是指具有相同属性的像素的连通集合。图像分割作为一种常见的图像处理技术，是从图像处理到图像分析的关键步骤，分割的结果直接影响到特征提取、目标分类等过程的性能。因此，图像分割被视为图像处理中的瓶颈，有重要的理论研究和实际应用价值。

为了通过图像处理技术实现农业生产自动化，必须解决植物图像分割的问题。国内外学者对其进行了很多研究，提出了很多的模型。Stajanko 等<sup>[8-9]</sup>提出归一化 RGB 坐标系来降低光照变化的影响，取得了不错的效果。Perez 等<sup>[11]</sup>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，Woebbecke 等<sup>[12]</sup>认为该模型非常适合用于辨别植物和土壤。Zhou 等<sup>[13]</sup>使用 RGB 和 HSI 色彩空间中的色差法  $r-b$  和  $g-r$  检测树上苹果。Meyer 等<sup>[14]</sup>使用超绿模型辨别杂草。Patel 等<sup>[7]</sup>提出使用多特征融合的方法来检测水果。这些研究表明，目前，植物图像分割的方法主要利用颜色特征，然而融合多种特征解决复杂背景下的分割问题是发展趋势。

甜瓜作为一种重要的经济作物，以其浓郁的香气，甘甜的味道和丰富的营养深受广大消费者的欢迎。在瓜田里，背景十分复杂，甜瓜果实分布杂乱<sup>[15]</sup>，有的被叶子遮挡，并且存在尺寸，形状和颜色的差异。甜瓜果实的异常图像<sup>[16]</sup>分割是图像处理中最困难的任务之一。

本文以塑料大棚中的甜瓜果实为研究对象，融合 HSV 与 CIELAB 色彩空间中的颜色特征和灰度共生矩阵的纹理特征，完成从复杂背景中检测甜瓜果实的任务。

## 1 材料

采用佳能 IXUS 9515 彩色单反数码相机于 2013 年 5 月 12 日在山东省济宁市喻屯镇谭口集甜瓜种植地里拍摄甜瓜果实图像，图像尺寸为 3648x2736 像素，为了方便后续的分析 and 处理，将图像尺寸归一化为 900x600 像素，从 JPG 格式转化为 BMP 文件格式，并存储在计算机中。甜瓜果实图像背景十分复杂，存在土壤，塑料，人和吊绳等的影响，部分图片如图 1 所示。而且光照的影响十分严重，处于光照直射的果实的部分呈现白色；光照透射叶子时，造成叶子显示黄绿色；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。简单的说，光照改变了它们原来的颜色信息，为基于颜色特征的图像分割方法造成了很大的困难。

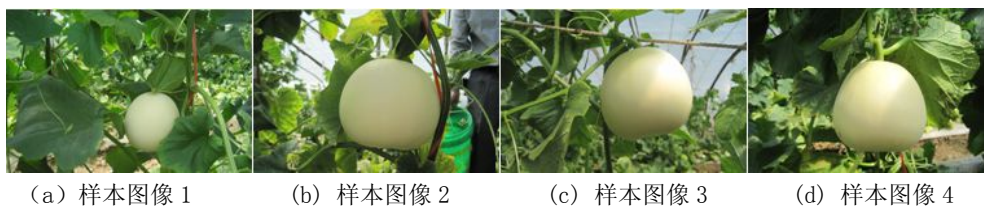


图 1. 甜瓜样本图像

## 2 色彩特征和纹理特征

传统的图像分割技术受到硬件速度的制约，通常都是基于灰度图像进行的；由于灰度图像没有色彩的信息，分割的效果受到限制。基于彩色图像的图像分割的性能更高，这是因为彩色图像比灰度图像含有更丰富的信息。为了提取图像的色彩信息，本文使用了 CIELAB 色彩空间和 HSV 色彩空间。

基于色彩的图像分割方法简单并且易于理解，因此这种方法在实际应用中有很广泛的用途。但是这种方法也存在固有的缺陷，当背景和前景的颜色十分接近时，它就没有办法进行分割了。为了弥补基于色彩的图像分割的不足，本文也使用了纹理特征来进行图像分割。其中，纹理特征是通过灰度共生矩阵提取出来的。

### 2.1 CIELAB 色彩空间

CIELAB 色彩空间是基于一种颜色不能同时既是绿又是红、既是蓝又是黄这种理论建立起来的。它也被称为  $L^*a^*b^*$  色彩空间，由  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  三个坐标轴组成，如图 2 所示。 $L^*$  为明度轴，表示心理亮度，黑在底端，白在顶端； $a^*$  为红绿轴， $+a^*$  表示红色， $-a^*$  表示绿色； $b^*$  为黄蓝轴， $+b^*$  表示黄色， $-b^*$  表示蓝色。

$L^*a^*b^*$  颜色空间不同于 RGB 色彩空间，是一种均匀的颜色空间<sup>[17]</sup>。它适用于一切光源色或物体色的表示与计算，现已成为国际通用的测色标准<sup>[18]</sup>。在 CIELAB 色彩空间中，两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。由于样本图像受光照影响十分严重，本文没有使用亮度分量  $L$ ，仅选用  $a^*$  分量和  $b^*$  分量建立角度模型，实现甜瓜果实和复杂背景的初步分离。

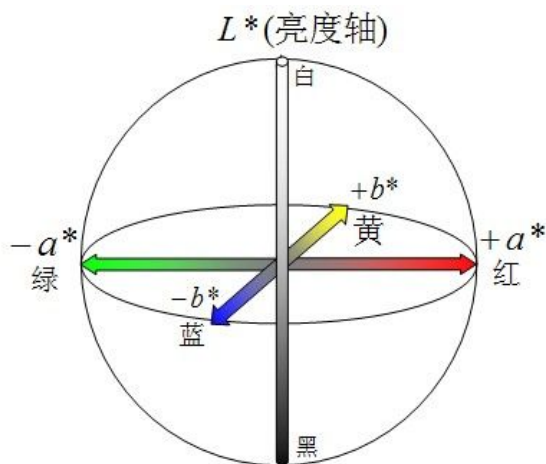


图 2. CIELAB 色彩空间

## 2.2 HSV 色彩空间

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。它可以用圆柱坐标系中的一个倒圆锥形来表示，如图 3 所示。其中，亮度用 V 轴表示；色调用绕 V 轴转动的角度 H 来表示，一般用  $0^\circ$  表示红色， $120^\circ$  表示绿色， $240^\circ$  表示蓝色；饱和度用离开 V 轴的距离 S 来表示。H、S 和 V 的取值范围都是 0 到 1。

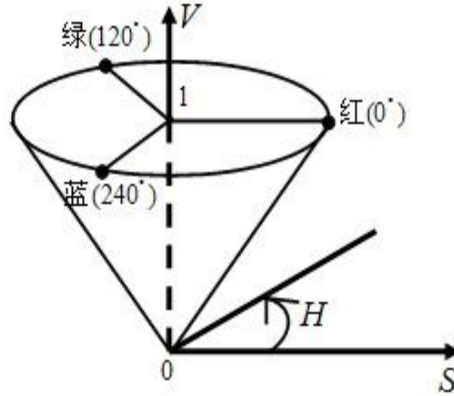


图 3. HSV 色彩空间

与 RGB 色彩空间不同，HSV 色彩空间的三个分量是相互独立的，可以分别进行处理；而且它的颜色和亮度信息是分离的，H 分量和 S 分量包含了颜色信息，V 分量只包含了亮度信息。因此，为了降低光照分布不均的影响，本文只使用 H 分量和 S 分量来提取颜色特征。

## 2.3 灰度共生矩阵

纹理特征提取作为图像识别和基于内容的图像检索等研究内容的首要问题，一直是图像处理领域研究的热点。Haralick 等<sup>[19]</sup>提出的灰度共生矩阵法（GLCM）是被广泛应用的纹理特征提取算法，其中常用的分析灰度共生矩阵的特征有能量、对比度和熵等。灰度共生矩阵是用两个位置像素的联合概率密度定义的，它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。

因为纹理是由灰度分布在空间位置上反复出现而形成的，所以在图像空间中相隔一定距离的两个像素之间会存在一定的灰度关系，即图像中灰度的空间相关性。灰度共生矩阵就是一种通过研究灰度的空间相关性来描述纹理的常用方法。本文使用对比度来分析纹理特征，对比度的定义式为式（1）：

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

其中，L 表示图像的灰度级，i，j 表示像素的位置，d 表示两个像素间的距离， $\theta$  表示方向角。

### 3 甜瓜果实分割算法

为了将甜瓜从复杂的背景中提取出来，本文提出一个融合颜色特征和纹理特征的算法。算法的流程如图 4 所示。

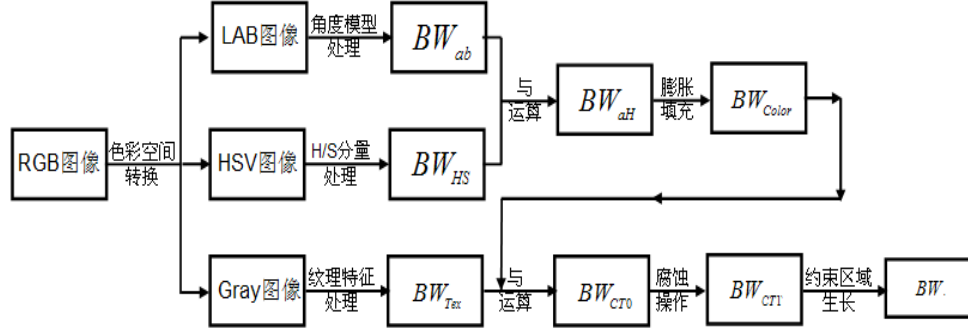


图 4. 算法流程图

算法的步骤是：

- (1) 把 RGB 图像转换到  $L*a*b*$  色彩空间，得到 LAB 图像，使用角度模型对其处理，得到  $BW_{ab}$ 。
- (2) 把 RGB 图像转换成 HSV 图像，利用 H 和 S 分量处理，得到二值图像  $BW_{HS}$ 。
- (3)  $BW_{ab}$  和  $BW_{HS}$  做与运算，得到  $BW_{aH}$ ，然后使用形态学膨胀和填充操作处理，得到二值图像  $BW_{Color}$ 。
- (4) 把 RGB 图像转换成 Gray 图像，利用纹理特征处理，得到  $BW_{Tex}$ 。
- (5)  $BW_{Tex}$  和  $BW_{Color}$  做与运算，然后使用腐蚀操作对结果处理，得到  $BW_{CT1}$ 。
- (6)  $BW_{CT1}$  做约束区域生长，得到精确的甜瓜区域  $BW$ 。

#### 3.1 利用颜色特征分割

在甜瓜果实图像中，甜瓜叶子是绿色或黄绿色，吊绳是红色，塑料是白色，而甜瓜果实呈现浅黄色。考虑到颜色的差异和  $L*a*b*$  颜色空间的均匀性，本文通过在  $L*a*b*$  颜色空间中建立一个角度模型，将甜瓜果实图像分为类果实区域和非类果实区域。

在  $L*a*b*$  颜色空间中，如图 5 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  $\beta$ ， $\beta$  的取值范围是  $0^\circ$  到  $360^\circ$ 。

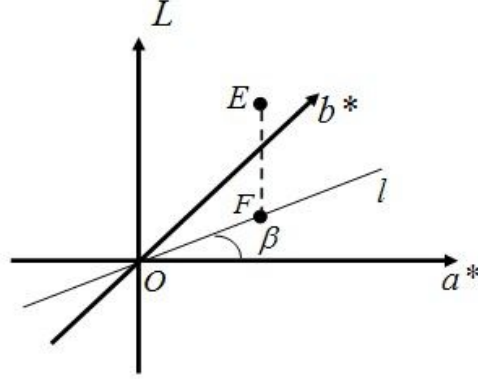


图 5. CIELAB 颜色空间中的角度模型

任何一种颜色，在  $L^*a^*b^*$  颜色空间中都对应一个  $\beta$  值；并且同一个  $\beta$  值对应的不同颜色相似。角度模型  $\beta$  的计算公式为式 (2)：

$$\beta = \begin{cases} \frac{180^\circ}{\pi} \arctan\left(\frac{B}{A}\right) & (A > 0, B > 0) \\ \frac{180^\circ}{\pi} \arctan\left(\frac{B}{A}\right) + 180^\circ & (A < 0) \\ \frac{180^\circ}{\pi} \arctan\left(\frac{B}{A}\right) + 360^\circ & (A > 0, B < 0) \end{cases} \quad (2)$$

其中， $B$  是一种颜色在  $L^*a^*b^*$  颜色空间中的  $b^*$  分量， $A$  是它的  $a^*$  分量。

$\arctan(B/A)$  的取值范围是从  $-\pi/2$  到  $+\pi/2$ ，而角度模型  $\beta$  的取值范围是  $0^\circ$  到  $360^\circ$ 。为了实现这一变换，首先把  $\arctan(B/A)$  从弧度制转换到角度制，然后考虑象限的影响，如果一种颜色位于  $a^*b^*$  平面的第一象限，角度保持不变，位于第二、三象限，加  $180^\circ$ ，位于第四象限，加  $360^\circ$ 。

限定  $\beta$  的取值范围，如公式 (3) 所示，可以初步分离甜瓜区域和非甜瓜区域，得到二值图像  $BW_{ab}$ 。其中，类甜瓜区域取值为 1，非类甜瓜区域取值为 0。

$$BW_{ab} = \begin{cases} 1 & (94^\circ < \beta < 118^\circ) \\ 0 & (\text{其它}) \end{cases} \quad (3)$$

将图像从 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间，使用  $H$ 、 $S$  分量提取颜色特征，限定  $H$  和  $S$  的取值范围，如公式 (4) 所示，得到二值图像  $BW_{HS}$ 。其中，类甜瓜区域取值为 1，非类甜瓜区域取值为 0。

$$BW_{HS} = \begin{cases} 1 & (0.13 < H < 0.23 \text{ 且 } 0 < S < 0.53) \\ 0 & (\text{其它}) \end{cases} \quad (4)$$

为了更加准确的辨别甜瓜果实区域和背景，融合  $L^*a^*b^*$  颜色空间中的特征和 HSV 颜色空间中的特征，即  $BW_{ab}$  与  $BW_{HS}$  共有的类甜瓜区域，得到  $BW_{aH}$ ，如公式 (5) 所示。

$$BW_{aH} = BW_{ab} \& BW_{HS} \quad (5)$$

一方面，甜瓜受光照影响非常严重，有的甜瓜区域呈现白色，经过上面颜色模型的处理，该区域不属于类甜瓜区域；另一方面， $BW_{ab}$  和  $BW_{HS}$  做与运算时，只存在  $BW_{ab}$  或  $BW_{HS}$  中的甜瓜区域被去除，因此，通过颜色特征提取的果实区域是不完整的。本文使用形态学运算解决了这个问题。先使用半径  $r=1$  的圆盘型结构元素对  $BW_{aH}$  做膨胀运算，再使用 MATLAB 函数 `imfill` 填充洞，得到的二值图像  $BW_{Color}$  作为颜色特征甜瓜区域。 $BW_{Color}$  中的果实区域非常完整。

### 3.2 利用纹理特征分割

本文使用的纹理特征是灰度共生矩阵的对比度特征。为了提取纹理特征，先按照公式 (6) 把 RGB 图像转换成灰度图像 Gray，并将其分割成 5400 个  $10 \times 10$  的小块，接着按照灰度级  $L=16$ ，距离  $d=4$ ，方向  $\theta=180$ ，计算每个小块的灰度共生矩阵，然后计算每个灰度共生矩阵的对比度  $C$ ，最后选出符合公式 (7) 的小块，得到  $BW_{Tex}$  作为纹理特征甜瓜区域。

$$Gray = 0.2989 * R + 0.5870 * G + 0.1140 * B \quad (6)$$

$$BW_{Tex} = \begin{cases} 1 & (C < 0.66) \\ 0 & (\text{其它}) \end{cases} \quad (7)$$

将颜色特征甜瓜区域  $BW_{Color}$  和纹理特征甜瓜区域  $BW_{Tex}$  按照公式 (8) 做与运算，得到  $BW_{CT0}$ ，作为粗双特征甜瓜区域。

$$BW_{CT0} = BW_{Color} \& BW_{Tex} \quad (8)$$

$BW_{CT0}$  中除了果实区域外，还有一些孤立的小块，本文使用形态学运算去除这些小区域。先使用长度为 10 的线型结构元素分别在水平方向和垂直方向做腐蚀操作，然后再使用 MATLAB 函数 `bwareaopen` 将面积小于 500 个像素的区域去除，就得到了精确的双特征甜瓜区域  $BW_{CT1}$ 。

### 3.3 约束区域生长

在提取纹理特征过程中将图像分割成一个个的小块，因此双特征甜瓜区域  $BW_{CT1}$  的边界呈现阶梯状，失去了甜瓜果实的原来的边缘形状；并且经过一系列

的形态学与运算和腐蚀操作，双特征甜瓜区域实际上只能确定甜瓜的粗略质心和半径，并且小于样本图像中甜瓜区域的实际面积。考虑到颜色特征甜瓜区域  $BW_{Color}$  包含完整的果实区域，本文使用  $BW_{Color}$  作为约束条件。

为了复原甜瓜果实的完整区域，本文提出约束区域生长<sup>[20]</sup>的算法。双特征甜瓜区域  $BW_{CT1}$  做为中心区域，以半径  $r=1$  的圆盘型结构元素做形态学膨胀操作，然后判断膨胀出来的像素是否属于颜色特征甜瓜区域  $BW_{Color}$ ，如果是，则添加到双特征甜瓜区域  $BW_{CT1}$  中，否则舍弃。迭代以上过程，得到精确的甜瓜果实区域  $BW$ 。

#### 4 实验结果分析

为了验证算法的有效性，本章先介绍了本文提出算法实现过程和试验结果，然后通过同 Perez 等<sup>[11]</sup>提出的归一化差值法（Normalized Difference Index）和超绿模型的试验结果做了比较。

本文所涉及的算法均在 MATLAB7.10<sup>[21]</sup>环境下实现，软件的运行环境是一台配置为 AMD 速龙 II X2 220 Processor 2.81GHz CPU，2GB 内存，500G 硬盘的计算机。从采集的甜瓜图像中选取 4 幅典型图像（如图 1 所示）作为样本进行试验。

原样本图像从 RGB 色彩空间转换到 CIELAB 色彩空间后，使用 a\*分量和 b\*分量，建立了角度模型。经过角度模型处理后得到二值图像  $BW_{ab}$ ，如图 6 所示。

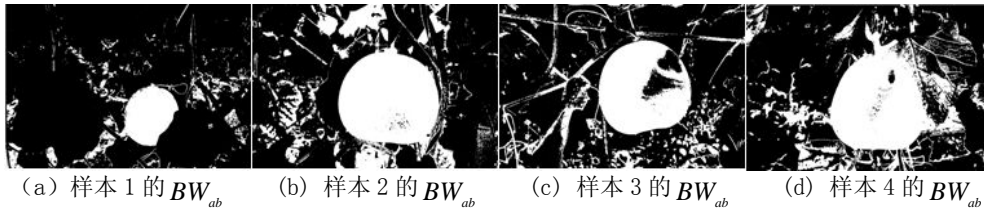


图 6. 二值图像  $BW_{ab}$

从图 6 中可以看出，经过角度模型处理以后，大部分的背景已经滤除，说明该模型十分有效。但是，该模型也存在不足。观察图 6 (a)、(b)，可以看到除了甜瓜果实区域外，还有较多背景被误判为甜瓜，对比图 1 中的样本图像，观察到误判的部分是土壤和黄绿色的叶子，而两者的共同点是和果实区域的颜色相似。类似甜瓜颜色的区域不能被滤除是因为角度模型是基于颜色特征提出的，而相似的颜色区分度小，不容易分开。这也是基于颜色特征的图像分割的共有的缺陷。观察图 6 (c)、(d)，可以看到果实区域中，一部分甜瓜被误判为背景。对比图 1 中的样本图像，可以看到，误判的部分属于阳光直射的区域，已经失去果实原来的颜色，呈现白色。这两个问题都是由颜色特征引起的。

为了降低影响，本文又融合了 HSV 色彩空间中的 H 分量和 S 分量作为特征来分割样本图像，得到  $BW_{HS}$ ，然后与  $BW_{ab}$  做与运算，得到二值图像  $BW_{aH}$ ，结果如图 7 所示。



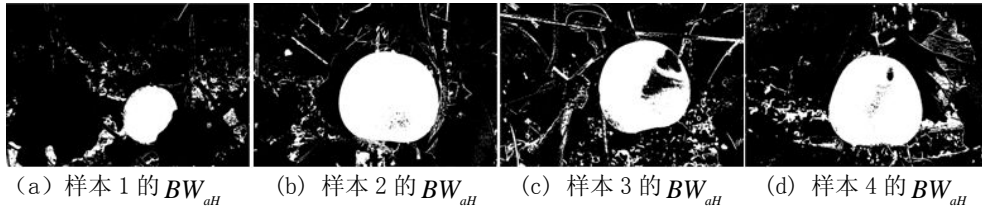


图 7. 二值图像  $BW_{aH}$

对比图 6 和图 7，可以看出图 7 中背景被误判为甜瓜的区域少了很多，尤其是图 7 (b) 和 (d)，由此得出结论，融合  $a^*$  分量、 $b^*$  分量、 $H$  分量和  $S$  分量的颜色特征更加有效，多特征融合的方法是图像分割发展的方向。但是，观察图 7 中的 (c) 和 (d)，发现阳光直射的果实部分被误判为背景的问题并没有得到解决。为了解决这个问题，对二值图像  $BW_{aH}$  做膨胀和填充操作，得到二值图像  $BW_{Color}$ ，结果如图 8 所示。

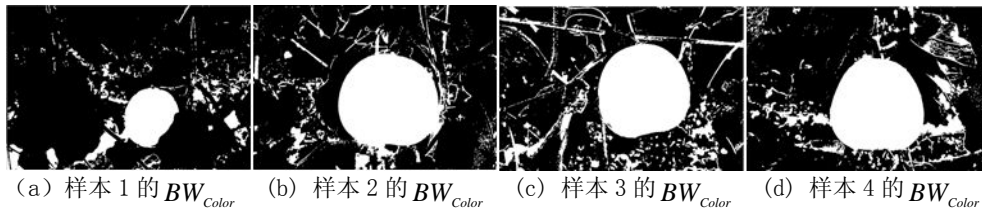


图 8. 二值图像  $BW_{Color}$

观察图 8 (c) 和 (d)，发现果实区域的洞已经被填充了，解决了上面提出的第二个问题。通过融合颜色特征，在完整保留果实区域的前提下，已经把大部分背景去除了，但是，由于基于颜色特征的图像分割的缺陷，还有剩余的一部分背景无法去除。所以，本文又使用了纹理特征来分割图像。

首先把 RGB 图像转换成灰度图像 Gray，并分解成 5400 个  $10 \times 10$  的小块，然后计算每个小块的灰度共生矩阵和对比度，根据对比度特征将图像分割成二值图像  $BW_{Tex}$ ，最后于颜色特征甜瓜区域  $BW_{Color}$  做与运算，得到二值图像  $BW_{CT0}$ ，结果如图 9 所示。

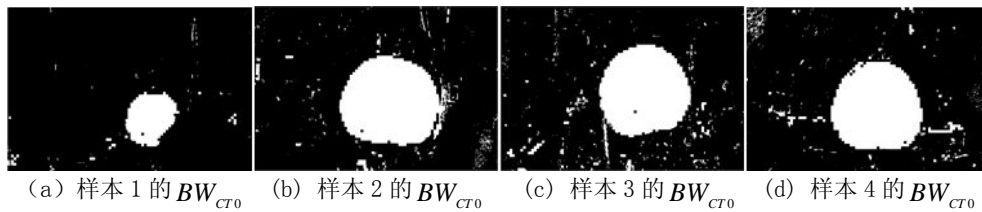


图 9. 二值图像  $BW_{CT0}$

观察图 9 可以发现，图 8 中被误判为果实的大部分背景已经被去除，而且已经不存在大的背景区域误判为果实的情况。对  $BW_{CT0}$  做形态学腐蚀操作，并把面积小于 500 个像素的小区域去除，就得到了  $BW_{CT1}$ ，结果如图 10 所示。

在图 10 中，可以看出所有的背景已经被滤除了。但是由于腐蚀操作以及一系列的与运算， $BW_{CT1}$  的果实区域面积小于实际的果实区域面积。并且，在使用纹理特征进行图像分割时，将图像分割成  $10 \times 10$  的小块，造成了图 10 所示的果

实的边界有毛刺。

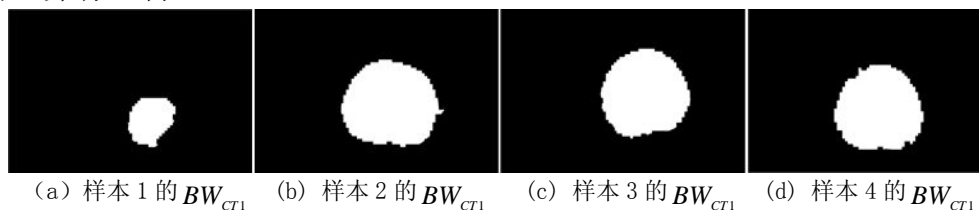


图 10. 二值图像  $BW_{CT1}$

为了解决上面这个问题，本文提出了约束区域生长算法，即以  $BW_{CT1}$  为中心，在  $BW_{Color}$  的限制下膨胀，得到图像二值图像 BW，结果如图 11 所示。

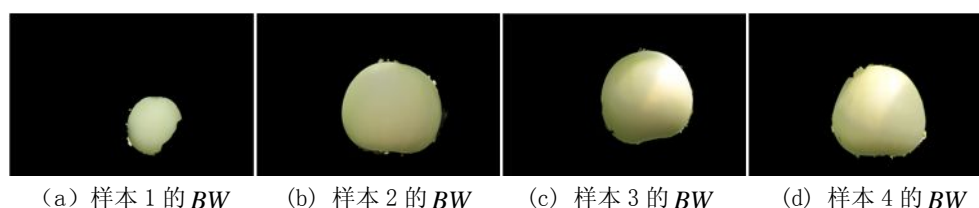


图 11. 二值图像 BW

可以看出，BW 的边缘已经变得光滑了，而且图 11 中的果实区域的面积比图 10 中的面积增加了。为了更加形象的展示分割效果，提取 BW 的边界，并以红色在 RGB 样本图像中标记出来，如图 12 所示。可以看出，分割的精度非常高。



图 12. 本文算法的分割结果

下面对本算法的试验结果同 NDI 算法结果和超绿模型的试验结果做比较。归一化差值法的分割结果如图 13 所示。超绿模型的分割结果如图 14 所示。

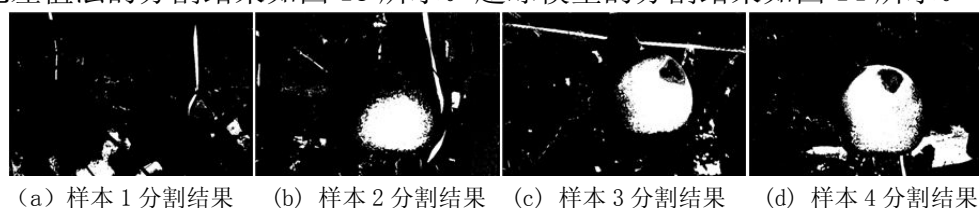


图 13. NDI 的分割结果



图 14. 超绿模型的分割结果

观察图 13(a)、图 14(a) 和图 12(a)，可以看出 NDI 法仅仅将土壤和红色的绳分割出来，完全没有起到分割甜瓜果实的目的；超绿模型无法将土壤、红绳和甜瓜分开，并且分割的甜瓜区域不完整；而本文提出的算法将甜瓜果实准确、完整的分割出来了。通过对比，得出结论，本文提出的算法可以将土壤与红绳等

背景和甜瓜分割开，可以从复杂背景中将甜瓜分割出来，它的分割能力很强。

观察图 13(b)、图 14(d) 和图 12(b)，可以看出 NDI 法分割的甜瓜区域并不完整，被误判为背景的甜瓜区域由于受到来自叶子的反射光，呈黄绿色，因此 NDI 法无法将其准确分割。相反，本文提出的算法不受影响，可以适应反射光的影响，它的鲁棒性更强。

观察图 14(b) 和图 14(c) 可以看出，超绿模型将塑料、人误判为甜瓜区域，而本文提出的算法可以将其区分开。超绿模型的主要用途是区别绿色植物和其它背景，人和塑料的颜色同绿色差别很大，因此被分为了甜瓜一类。观察图 14(d)，超绿模型无法将甜瓜区域分割出来。

通过比较 NDI 法、超绿模型和本文提出的算法的试验结果，可以看出本文提出的算法明显胜过另外两种算法。本文提出的融合颜色特征和纹理特征的分割方法可以将甜瓜从土壤、叶子、绳、人、塑料等组成的复杂背景中分割出来，而且解决了光照的影响，具有适用范围广、鲁棒性强的特点。

## 5 结论与展望

实验结果已经证明本文提出的基于颜色和纹理融合特征的甜瓜分割算法的有效性。本文先使用  $L*a*b*$  色彩空间中  $a^*$  和  $b^*$  分量建立角度模型，去除大部分的背景，并使用 HSV 色彩空间的 H 和 S 分量进一步去除背景，然后使用灰度共生矩阵提取纹理特征，实现纹理分割，并融合颜色分割和纹理分割的结果，最后，使用约束区域生长法使果实边界更加准确。多特征融合的思想不仅体现在颜色特征和纹理特征的融合中，也在  $L*a*b*$  色彩空间的颜色特征和 HSV 色彩空间的颜色特征的融合中得到了体现，因此，本文的融合有多层的涵义。通过与归一化差值法和超绿模型比较，可以看出，本文提出的融合颜色特征和纹理特征的图像分割算法的适用范围广，鲁棒性强。

本文提出的算法目前只在甜瓜图像上进行了实验，下一步，我们会将多特征融合的思想应用在更多的农作物上，加快图像处理技术在农业中的应用。另外，我们已经将甜瓜从复杂背景中准确的检测出来了，如何获取甜瓜区域的面积和半径进而预测甜瓜的产量也是下一步研究方向。

## 致谢

本论文是在王玉德老师的悉心指导下完成的，从论文的选题、具体研究方法和论文的修改到图像采集和算法开发等，王老师都提供很多帮助和指导。他严谨的治学态度、渊博的专业知识、求实的作风和勤奋忘我的工作都深深激励着我，在此向王老师表示深深的敬意和由衷的感谢。

## 参考文献：

- [1] Chun-Chleh. Yang, shiv.O. Prasher, Jacques-Andre. Landry, et al. A vegetation localization algorithm for precision farming[J]. Biosystems Engineering, 2002, 81(2):137-146.
- [2] Qian Du, Ni-Bin Chang, Chenghai Yang, 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.

[3] 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.

[4] Guili Xu, Fengling Zhang, Syed Ghafoor Shah, et al. Use of leaf color images to identify nitrogen and potassium deficient tomatoes[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2011, 32(11):1584-1590.

[5] Mulan Wang, Kun Liu, Xiaoxia Li, et al. Image recognition technology in intelligent cotton harvesting machine[J]. *2011 International Conference on Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences*. 2011, 2:320-323.

[6] Mulan Wang, Jieding Wei, Jianning Yuan, et al. A research for intelligent cotton picking robot based on machine vision[J]. *The 2008 IEEE International Conference on Information and Automation*, 2008:800-803.

[7] 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.

[8] D. Stajanko, M. Lakota, M. Hocevar. 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.

[9] D. Stajanko, J. Rakun, M. Blanke. Modeling apple fruit yield using image analysis for fruit colour, shape and texture[J]. *European Journal of Horticultural Science*, 2009, 74(6), 260–267.

[10] A.B. Payne, K.B. Walsh, P.P. Subedi, et al. Estimation of mango crop yield using image analysis – segmentation method[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013, 91:57-64.

[11] A.J. Perez, F. Lopez, J.V. Benlloch, et al. Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2000, 25(3):197–212.

[12] David M. Woebbecke, George E. Meyer, Kenneth Von Bargen, et al. Plant species identification, size and enumeration using machine vision techniques on near-binary images[J]. *Proc. SPIE 1836, Optics Agriculture and Forestry*, 1993:208–219.

[13] Rong Zhou, Lutz Damerow, Yurui Sun, 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.

[14] Meyer G E; Mehta T; Kocher M F; Mortensen D A; SamalA. Textural imaging and discriminant analysis for distinguishing weeds for spot spraying. *Transactions of the ASAE*, 1998 , 41(4), 1189-1197

[15] Edan Y, Rogozin D, Flash T, Gaines E. Miles. Robotic Melon Harvesting [J]. *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 2000, 16(6):831-834.

[16] R.C.Gonzalez, R.E. Woods, *Digital Image Processing [M]*, Publishing House of Electronics Industry, Jul.2004.

[17] P. Ganesan, V. Rajini, R. Immanuvel Rajkumar. Segmentation and Edge Detection of Color Images Using CIELAB Color Space and Edge Detectors[J]. *2010 International Conference on Emerging Trends in Robotics and Communication Technologies*, 2010: 393-397.

[18] Erhu Zhang, Yajun Chen, Jia Yu, et al. A study of image color quality evaluation based on S-CIELAB[J]. *2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing(CISP)*,2010, 3: 1110-1114.

[19] R. M. Haralick, Shanmngam K, Dinstein I. Texture Feature for image classification[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1973, 3(6):610-621.

- [20] Treneau A, Borel N. A region growing and merging algorithm to color segmentation [J]. Pattern Recognition, 1997, 30(7):1191-1203.
- [21] MathWorks Inc. Matlab: The language of technical computing, <http://www.mathworks.com>, 1984-.