

# 基于模糊彩色聚类方法的西红柿缺陷分割研究

朱伟华, 曹其新

(上海交通大学, 上海 200030)

**摘要:** 缺陷的检测一直是应用计算机视觉技术进行水果自动分级的难点。在 HSL 颜色模型的基础上, 提出了基于模糊颜色聚类的缺陷分割方法。将 RGB 颜色模型转化为 HSL 颜色模型; 用三角隶属度函数定义 H、S、L 模糊集, 进而构成模糊颜色集; 在模糊颜色的基础上, 定义模糊颜色相似度测度, 分析两种模糊颜色的形似性。将该分割方法应用于西红柿的缺陷分割, 试验表明: 准确率达 96%。

**关键词:** 计算机视觉; 模糊颜色; 西红柿; 缺陷; 分割; 检测

**中图分类号:** TP242.62; S641.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2003)03-0133-04

## 1 引言

水果分级是水果产后售前的重要处理环节。根据水果尺寸、形状、颜色和缺陷等多个指标, 判断等级。长期以来, 水果分级工作一直靠人工完成。随着科学技术的迅速发展, 根据分级标准, 应用彩色机器视觉技术, 可以实现水果自动分级。国内外研究者对相关技术进行了深入研究, 但是, 水果表面缺陷的识别一直是品质检测中的难题。

缺陷的识别包括缺陷的有无、大小、位置等信息, 首先必须从水果图像中分割出缺陷区域。目前, 国内外研究者提出了各种分割方法。Zhiqing Wen 和 Yang Tao<sup>[4]</sup>以及 Gerald 和 James<sup>[5]</sup>用近红外技术检测缺陷, 从黑白摄像头得到含有缺陷信息的灰度图像, 然后用阈值法分割缺陷; Miller 和 DeWiche<sup>[6]</sup>用基于梯度的高斯滤波器检测缺陷边缘; Leemans 和 Magein 等<sup>[7]</sup>用 Bayes 分类器, 将彩色图像的每个像素根据颜色分成“正常”和“缺陷”两类, 从而实现缺陷的分割。

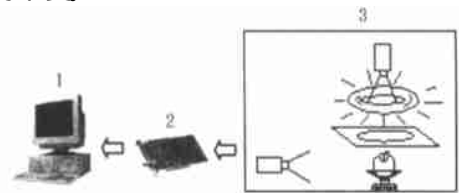
上述这些方法大多都是基于传统的图像处理技术的分割方法, 适应差, 检测效果随着检测的水果个体不同而不同, 只在特定条件有效。

对大多数水果, 缺陷区域和正常区域的颜色特征有明显的区别, 因此可以根据颜色特征进行缺陷分割。传统的基于颜色特征的分割方法, 将图像每个像素颜色绝对地定义为某一颜色集, 不符合人对颜色的视觉感官, 也和对人水果缺陷的模糊判断有根本的区别, 所以识别效果不理想。本文以温室西红柿为例, 应用模糊彩色聚类, 提出了水果表面缺陷分割的新方法。

## 2 计算机视觉检测硬件系统

本研究的计算机视觉检测系统如图 1 所示, 由个人计算机、两个彩色 CCD 摄像机、图像采集卡和照明室等

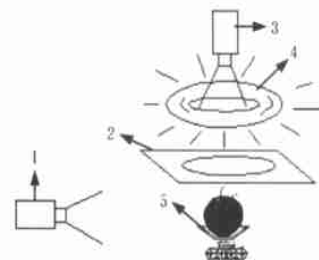
组成。系统主机选用 Intel Pentium III 个人微机, 内插 Matrox Meteor II/Standard PCI 图像采集卡, 采用 View se VC-823D 彩色高分辨率数码摄像机, 配 Avenir SSE0412 CS 接口镜头。如图 2, 为得到均匀稳定的光照, 避免阴影及其它干扰因素的影响, 设计了一个封闭式 80×50×50 的长方体型照明室, 内壁涂成白色, 箱体中央上部放置一个环形日光灯 (18W, 220V), 在光源下放置散射玻璃, 提供充足均匀的可见光。在环形日光灯中间和侧面各放置一个摄像头, 获取水果图像。水果通过专用的排列机构安放在托盘中, 在传送过程中水果姿态保持不变。



1 计算机 2 图像采集卡 3 光照箱

图 1 计算机视觉系统的组成

Fig 1 Computer vision system



1 摄像头 2 散射玻璃 3 摄像头

4 环形日光灯 5 水果托盘

图 2 光照箱结构

Fig 2 Lighting chamber

## 3 模糊颜色分析

### 3.1 颜色模型的选择

色彩模型是图像处理的基础, 常用的颜色模型有 RGB、HSL。在 RGB 颜色模型中, 任何一种颜色由红

收稿日期: 2002-08-21

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目(农科攻字(2001)第 2-1 号)

作者简介: 朱伟华, 硕士生, 上海市华山路 1954 号 上海交通大学机械工程与动力学院 B0006093 信箱, 200030

(R)、绿(G)、蓝(B)三基色按一定的比例表示。RGB 颜色模型是面向设备的模型,并不符合人的视觉心理,颜色信息和亮度信息分布在 RGB 3 个分量中。理论分析和试验结果都表明,对同一颜色属性物体,在光照光源种类、照度、物体反射特性等不同条件下,测得的 RGB 颜色值分布很分散,3 个分量互相关联变化。而 HSL 颜色模型通过色调(H)、饱和度(S)、亮度(L)3 个分量描述颜色,更能接近人眼对颜色的感知。色调 H 和饱和度 S 通常由构成物体的原材料的光线吸收和反射特性来决定,比较准确地反映颜色种类,对外界光照条件的变化敏感程度低,HSL 颜色模型比 RGB 颜色模型更适合图像处理。本研究中,采用 HSL 颜色模型。

彩色图像一般用 RGB 颜色模型表示,每个像素的颜色用 R、G、B 三个字节表示,即(R,G,B)。HSL 颜色模型中,色调(H)、饱和度(S)、亮度(L)和 RGB 颜色模型 R、G、B 的转换公式如下:

$$H = \begin{cases} 60 \times \frac{g - b}{I_{max} - I_{min}} & \text{当 } r = I_{max} \\ 60 \times \left[ 2 + \frac{b - r}{I_{max} - I_{min}} \right] & \text{当 } g = I_{max} \\ 60 \times \left[ 4 + \frac{r - g}{I_{max} - I_{min}} \right] & \text{当 } b = I_{max} \\ \text{未定义} & \text{当 } I_{max} = I_{min} \end{cases}$$

$$H = H + 360 \quad \text{当 } H < 0$$

$$L = \frac{I_{max} + I_{min}}{2}$$

$$L = 1 - \frac{|L - 0.5|}{0.5}$$

$$S = \begin{cases} 0 & \text{当 } I_{max} = I_{min} \\ \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} L & \text{当 } L \leq 0.5 \\ \frac{I_{max} - I_{min}}{2 - I_{max} - I_{min}} L & \text{L 其它} \end{cases}$$

其中,R、G、B 三个颜色分量在[0,255]范围内取值。定义(r,g,b)为(R,G,B)的相对强度,则:

$$r = \frac{R}{255}, g = \frac{G}{255}, b = \frac{B}{255};$$

$$I_{min} = \min\{r, g, b\}, I_{max} = \max\{r, g, b\}$$

### 3.2 模糊颜色

相对于 RGB 颜色模型,HSL 颜色模型与人眼感觉颜色的原理相似,更符合人的视觉规律,所以基于 HSL 颜色模型的色度、饱和度和亮度定义模糊颜色。

在系统中,模糊颜色由色度、饱和度和亮度构成。给定一个具体的颜色,我们根据预定义的色度、亮度和饱和度的模糊集,使用三角形隶属度函数计算它的隶属度。色度、亮度和饱和度的模糊集构成模糊颜色集。

#### 3.2.1 色度、饱和度和亮度模糊集

假设  $H = \{H_i | i = 1, 2, \dots, h\}$  是用户预定义的色度集。对一个色度 H,模糊集  $\tilde{H}$  表示如下

$$\tilde{H} = \left[ \begin{matrix} h \\ \mu_{H_i}(x)/H_i \end{matrix} \right] \quad (4)$$

式中 x —— 色度 H 的值。模糊色度 H 相对于特定的

$H_i$  隶属度用隶属度函数  $\mu_{H_i}$  表示。 $\mu_{H_i}$  有两个参数  $a_i$  和  $p_i$ ,表示如下

$$\mu_{H_i}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{|x - a_i|}{p_i} & \text{当 } a_i - p_i \leq x \leq a_i + p_i \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

隶属度函数曲线如图 3 所示。

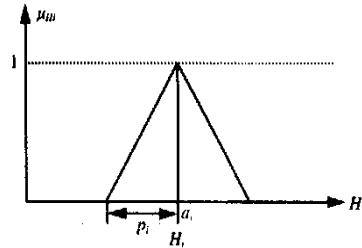


图 3 色度隶属度函数曲线

Fig 3 Curve of hue subordinate function

类似地,可以定义饱和度模糊集  $\tilde{S}$  和亮度模糊集  $\tilde{L}$  如下:

$$\tilde{S} = \left[ \begin{matrix} s \\ \mu_{S_i}(y)/S_i \end{matrix} \right] \quad (6)$$

式中  $S = \{S_i | i = 1, 2, \dots, s\}$ ;  $\mu_{S_i}(y)$  —— 三角隶属度函数,如式(7)

$$\mu_{S_i}(y) = \begin{cases} 1 - \frac{|y - b_i|}{q_i} & \text{当 } b_i - q_i \leq y \leq b_i + q_i \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (7)$$

$$\tilde{L} = \left[ \begin{matrix} L \\ \mu_{L_i}(z)/L_i \end{matrix} \right] \quad (8)$$

式中  $L = \{L_i | i = 1, 2, \dots, l\}$ ,  $\mu_{L_i}$  是三角隶属度函数,如式(9)

$$\mu_{L_i} = \begin{cases} 1 - \frac{|z - c_i|}{r_i} & \text{当 } c_i - r_i \leq z \leq c_i + r_i \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (9)$$

#### 3.2.2 模糊颜色集

模糊颜色由色度、饱和度和亮度模糊集构成。设  $C = \{C_{ijk} | 1 \leq i \leq h, 1 \leq j \leq s, 1 \leq k \leq l\}$  是由由 h 个色度, s 个饱和度, l 个亮度组成的模糊颜色集,则模糊颜色集 C 可表示为

$$\tilde{C} = \left\{ \begin{matrix} h & s & l \\ \mu_{C_{ijk}}(x, y, z)/C_{ijk} \end{matrix} \right\} \quad (10)$$

其中模糊颜色集的隶属度函数定义如下:

$$\mu_{C_{ijk}}(x, y, z) = \mu_{H_i}(x) \cdot \mu_{S_j}(y) \cdot \mu_{L_k}(z)$$

式中 x, y, z 由公式(1)、(2)、(3)取得,  $\mu_{H_i}, \mu_{S_j}, \mu_{L_k}$  由公式(5)、(7)、(9)定义。

#### 3.2.3 模糊颜色的相似度

为了衡量两种颜色的相似性,在模糊颜色隶属度的基础上,我们定义相似度。对两种颜色  $Color_1 = (R_1, G_1, B_1), Color_2 = (R_2, G_2, B_2)$  根据公式可以得到相应的 HSL 值,设  $C_1 = (h_1, s_1, l_1), C_2 = (h_2, s_2, l_2)$ 。由公式,颜色  $\tilde{C}_1$  和  $\tilde{C}_2$  的模糊颜色隶属度为:



$$\tilde{C}_1 = \begin{matrix} h & s & l \\ i & j & k \\ \mu_{C_{ijk}}(h_1, s_1, l_1) / C_{ijk} \end{matrix}$$

$$\tilde{C}_2 = \begin{matrix} h & s & l \\ i & j & k \\ \mu_{C_{ijk}}(h_2, s_2, l_2) / C_{ijk} \end{matrix}$$

则模糊相似度定义为:

$$S_{\text{sim}}(\tilde{C}_1, \tilde{C}_2) = \frac{\min_{\substack{i=1, j=1, k=1 \\ h, s, l}} [\mu_{C_{ij}}(h_1, s_1, l_1), \mu_{C_{ij}}(h_2, s_2, l_2)]}{\max_{\substack{i=1, j=1, k=1 \\ h, s, l}} [\mu_{C_{ij}}(h_1, s_1, l_1), \mu_{C_{ij}}(h_2, s_2, l_2)]} \quad (11)$$

#### 4 试验结果及分析

为了验证算法的有效性, 从上海孙桥现代农业园取得温室西红柿 73 个, 其中表面有各种缺陷的 29 个: 有链状痕迹 4 个, 损伤 11 个, 落花痕迹 9 个, 腐烂色斑 5 个。以分割落花痕迹为例, 首先从图像中读取落花痕迹 RGB 像素值, 然后按公式(1)、(2)、(3)转化为 HSL 格式, 用统计分析法确定落花痕迹聚类中心值  $(h, s, l) = (23, 39, 46)$ 。取隶属度函数  $a_i = 23, p_i = 10, b_i = 39,$

$q_i = 5, c_i = 46, r_i = 5,$  由公式(4)、(6)、(8) 可得落花痕迹模糊颜色集如下表示:

$$\tilde{H} = (0/13, 0.75/18, 1.00/23, 0.75/28, 0/33)$$

$$\tilde{S} = (0/34, 0.20/36, 1.00/39, 0.20/42)$$

$$\tilde{L} = (0/41, 0.20/43, 1.00/46, 0.20/51)$$

$$\tilde{C} = (0.03/(18, 36, 43), 0.15/(18, 36, 46), 0.03/(18, 36, 51), 0.15/(18, 39, 43), 0.75/(18, 39, 46), 0.15/(18, 39, 51), 0.03/(18, 42, 43), 0.15/(18, 42, 46), 0.03/(18, 42, 51), 0.04/(23, 36, 43), 0.20/(23, 36, 46), 0.04/(23, 36, 51), 0.20/(23, 39, 43), 1.00/(23, 39, 46), 0.20/(23, 39, 51), 0.04/(23, 42, 43), 0.20/(23, 42, 46), 0.04/(23, 42, 51), 0.03/(28, 36, 43), 0.75/(28, 36, 46), 0.03/(28, 36, 51), 0.15/(28, 39, 43), 0.75/(28, 39, 46), 0.15/(28, 39, 51), 0.03/(28, 42, 43), 0.15/(28, 42, 46), 0.03/(28, 42, 51))$$

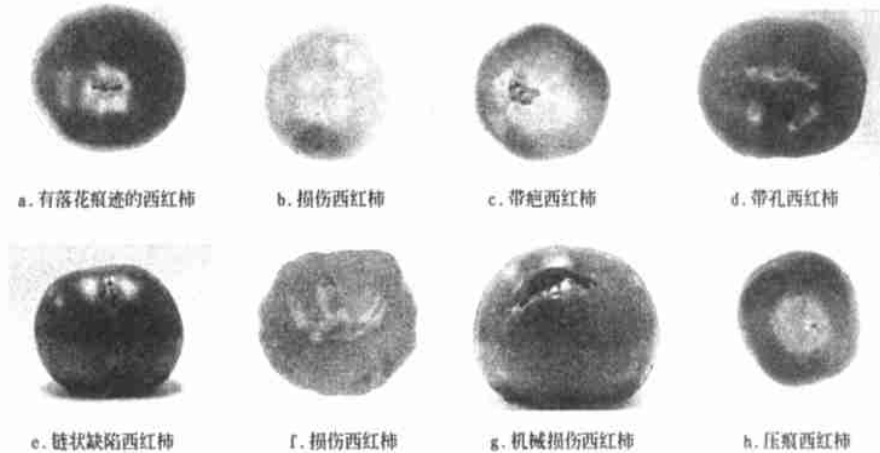


图 4 损伤或缺陷西红柿样本图

Fig 4 Samples of injured or defect tomatoes

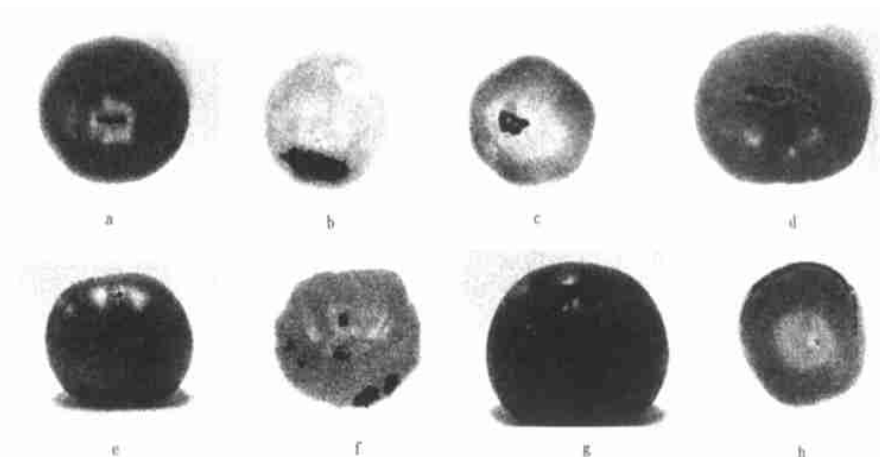


图 5 缺陷抽取结果

Fig 5 Results of defect segmentation

类似地,可以建立其它缺陷的模糊颜色集,然后对西红柿样本图像进行聚类分割。图5是图4西红柿样本的缺陷识别结果,图中黑色部分表示识别出来的缺陷,试验结果如表1所示。

表1 模糊颜色聚类分割西红柿缺陷结果

Table 1 Defect segmentation of tomatoes by using fuzzy colour clustering method

	正常	缺陷	链状痕迹	损伤	落花痕迹	腐烂色斑
实际样本	44	29	4	11	9	5
分割结果	46	27	4	9	9	5

以上试验结果表明,测试准确度为96%。样本中,2个有损伤缺陷的西红柿没有正确分割。经分析发现,这两个西红柿属于轻微损伤,损伤表面颜色接近正常表面,远离损伤模糊颜色中心,所以出现误分割。

## 5 结论

本文提出的基于模糊颜色聚类的水果缺陷分割方法,符合人的视觉判别。在HSL颜色模型的基础上,建立模糊颜色集,用模糊颜色相似度判别两种颜色的相似性。将该方法用于温室西红柿缺陷的分割,准确度为96%。试验结果表明,用模糊颜色聚类的方法对西红柿缺陷分割是有效的,对解决水果自动分级系统中的缺陷识别难题有重要的参考意义。

### [参考文献]

- [1] Byron K Miller, Michael J DeWiche A color vision system for peach grading [J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(4): 1484~ 1490
- [2] Choi K, Lee G, Han Y J, et al Tomato maturity evaluation using color image analysis [J]. Transactions of the

ASAE, 1995, 38(1): 171~ 176

- [3] 应义斌,景寒松,马俊福 机器视觉技术在黄花梨尺寸和果面缺陷检测中的应用[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 197~ 200
- [4] Wen Zhiqing, Tao Yang Building a rule-based machine-vision system for defect inspection on apple sorting and packing lines [J]. Expert Systems with Applications, 1999, 16: 307~ 313
- [5] Gerald E Rehkugler, James A. Throop. Image processing algorithm for apple defect detection [J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(1): 267~ 272
- [6] Miller B K, DeWiche M J. Peach defect detection with machine vision [J]. Transactions of the ASAE, 1991, 34(6): 2588~ 2597.
- [7] Leemans V, Magein H, Destain M F. Defect segmentation on 'Jonagold' apples using colour vision and a Bayesian classification method [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1999, 23: 43~ 53
- [8] Ronald R. Yager, Dimitar P Filev. Approximate clustering via the mountain method [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1994, 24(8): 1279~ 1284
- [9] Bezdek J C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms [J]. Plenum Press, New York, 1992
- [10] Sugano N. A fuzzy set theoretical approach for color specification using color names [J]. IEEE SMC 99 Conference Proceedings, IEEE International Conference, 1999, 6: 230~ 235
- [11] Kawamura M, Onisawa T. Expression model of subjective color impressions [J]. IEEE SMC 99 Conference Proceedings, IEEE International Conference, 1999, 6: 212~ 217.
- [12] Been-Chian Chien, Ming-Cheng Cheng A color image segmentation approach based on fuzzy similarity measure [J]. IEEE International Conference, 2002, 449~ 454

## Defect segmentation of tomatoes using fuzzy color clustering method

Zhu Weihua, Cao Qixin

(Department of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** Fruit surface defect inspection is always a challenging project for computer vision automated fruit grading. On the basis of HSL color model, a defect segmentation method based on fuzzy color clustering is proposed. By converting pixel value from RGB color model to HSL color model; defining H, S, L fuzzy sets using triangle membership function, and constructing a fuzzy color set, a fuzzy color similarity measure to calculate similarity between two fuzzy colors was created. This algorithm was applied to tomato defect segmentation, and experimental results show that the accuracy is 96%.

**Key words:** computer vision; fuzzy color; tomatoes; defect; segmentation; inspection