

基于双树复小波变换和邻域操作的哈密瓜纹理提取*

马本学^{1,2} 高国刚¹ 王宝¹ 吕琛¹ 张巍^{1,2} 朱荣光^{1,2}

(1.石河子大学机械电气工程学院,石河子 832003; 2.新疆兵团农业机械重点实验室,石河子 832003)

摘要:为研究哈密瓜表面纹理特征分布规律,采集金密16号9成熟、全熟和金密17号9成熟、全熟共168幅哈密瓜样本图像,对RGB彩色图像的R、G、B分量执行代数运算,转换为灰度图后进行背景分割,然后利用双树复小波变换(DT-CWT)分解图像,获取高频子图像,并对其执行邻域操作,采用迭代法选取最优阈值完成纹理提取,最后利用灰度差分统计法和纹理频谱分析法描述分析哈密瓜纹理特征,建立基于支持向量机(SVM)的分类模型。研究表明,利用DT-CWT和邻域操作相结合的方法可得到更加连续、完整的哈密瓜纹理图像;4种哈密瓜的纹理特征值差异显著,利用纹理特征值分类准确率为89.3%;哈密瓜表面纹理无周期性。

关键词:哈密瓜 双树复小波变换 邻域操作 纹理提取 纹理描述

中图分类号: TP391.41; S652.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)12-0316-07

引言

依据GB/T 23398—2009,表面纹理特征是评判哈密瓜等级的重要指标^[1]。纹理是人类视觉系统对自然界物体表面现象的一种感知,是人们描述与区分不同物体的重要特征之一,多年来国内外学者针对图像的纹理特征提取问题展开一系列的研究^[2-8]。在国外,利用纹理特性来判别果蔬产品成熟度和收获时间的应用已较为广泛^[9]。

国内外学者在纹理提取中大都采用灰度共生矩阵法、小波变换法或2种传统方法的结合。虽然小波变换作为纹理提取和分析的工具已经得到了肯定,但是,由于传统的离散小波存在平移敏感性、振动性、频谱混叠性和缺乏方向选择性等缺点,使得基于小波变换的纹理特征提取在处理复杂纹理图像方面受到了限制^[10]。本文以哈密瓜为对象,提出一种利用双树复小波变换(DT-CWT)和图像邻域操作相结合的方法对哈密瓜表面纹理特征进行提取,并利用灰度差分统计法和纹理频谱分析法描述分析纹理特征,建立基于SVM的哈密瓜纹理分类模型,研究金密16号9成熟、全熟和金密17号9成熟、全熟4种哈密瓜纹理特征的分布规律。

1 DT-CWT概述

为了克服通常的离散小波变换的缺陷,Kingsbury^[10]提出了一种新方法——双树复小波变

换(DT-CWT),该方法与常规的小波不同,它通过独立使用两棵滤波树来分别生成小波系数的实部和虚部。图1给出了使用DT-CWT对一维信号进行4层分解示意图和重构示意图^[11],对于二维图像信息,需要分别对图像的行和列进行一维的DT-CWT。

DT-CWT的思路是^[10-12]:对于第一层分解,如果树a滤波器和树b滤波器之间的采样延迟恰好是一个采样间隔,那么就可保证树a在采样过程中因二抽取所丢掉的采样值正好被树b中第一层的二抽取采样到。在以后的各层分解中,为了确保两树在该层和所有前层上产生的延迟差的总和相对于原始输入为一个采样周期,两树所对应的滤波器应具有相等的幅频响应,且两滤波器的相频响应之间应有半个采样周期的群延迟。为了保证线性相位,应采用双正交小波变换,并且要求一树的滤波器长度为奇数,另一树的滤波器长度为偶数。如果在每棵滤波树不同层次间交替的使用奇偶滤波器,那么这两树就会呈现良好的对称性^[8-12]。

由于传统小波存在平移敏感性,对输入信号进行一个很小的平移都会使得小波系数发生明显的变化。而DT-CWT是采用一对滤波器同时作用在输入信号上^[13-14],一维DT-CWT可表示为

$$\Psi(t) = \Psi_h(t) + j\Psi_g(t) \quad (1)$$

式中 $\Psi(t)$ ——复小波 $\Psi_h(t)$ ——树a的小波 $\Psi_g(t)$ ——树b的小波

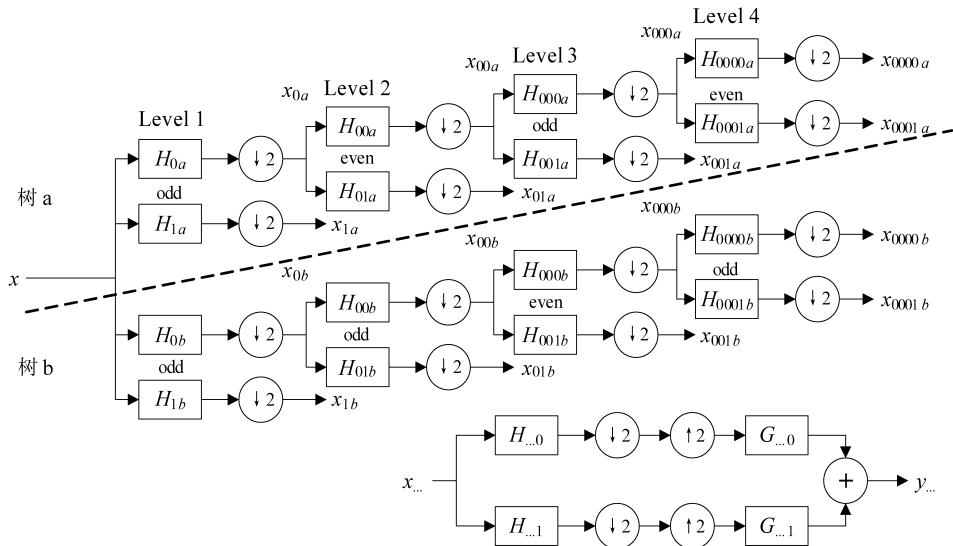


图 1 DT-CWT 分解和重构

Fig. 1 DT-CWT decomposition and reconstruction

当满足如下条件时

$$H_0(e^{j\omega})\tilde{H}_0(e^{j\omega}) + H_1(e^{j\omega})\tilde{H}_1(e^{j\omega}) = 2 \quad (2)$$

$$g_0(n) = h_0(n - 0.5) \quad (3)$$

式中 $H_0(e^{j\omega})$ —— $h_0(n)$ 对应的傅里叶变换

$H_1(e^{j\omega})$ —— $h_1(n)$ 对应的傅里叶变换

$\tilde{H}_0(e^{j\omega})$ —— $H_0(e^{j\omega})$ 的共轭

$\tilde{H}_1(e^{j\omega})$ —— $H_1(e^{j\omega})$ 的共轭

$g_0(n)$ —— h_0 半个采样周期的群延迟

虽然信号平移会引起小波系数的变化,但幅值变化保持稳定,因此 DT-CWT 具有近似的平移不变性。

相对于实小波,DT-CWT 具有更好的方向选择性,在对图像进行每一层分解时,DT-CWT 都会在 $\pm 15^\circ$ 、 $\pm 45^\circ$ 、 $\pm 75^\circ$ 6 个方向上采样,获取 6 个方向上的高频子图像^[13-14]。然而图像的纹理特征和边缘等细节信息主要体现在高频部分,因此,对每层分解得到的高频子图像进行图像的邻域操作,尽量

保留高频信息去除低频信息,然后进行重构,所得到的结果能够全面地反映图像的纹理特征,更有利于后续的纹理特征的提取。

2 哈密瓜表面纹理特征提取

基于 DT-CWT 和图像邻域操作的哈密瓜纹理提取主要分为以下几个步骤:图像的获取、灰度图转换、背景分割、双树复小波分解和图像邻域操作、图像重构、阈值处理,具体操作过程如图 2 所示。

2.1 图像获取

研究所用的图像采集系统主要由以下几部分组成^[15]:线阵 CCD 摄像机 (Hamamatsu C8484-05G01 型)、镜头 (Kowa LMZ50M 型)、光照箱、150 W 光纤卤素灯 (SCHOTT DCR III 型)、带有 1394 数据采集卡的计算机 (ThinkCentre, 英特尔 Core2 Duo E8400@ 3.00 GHz, RAM 1.00 GB)。实验中,为增强背景与哈密瓜的反差,需将光照箱内表面涂成黑色,并选用黑色作为背景色获取哈密瓜图像。

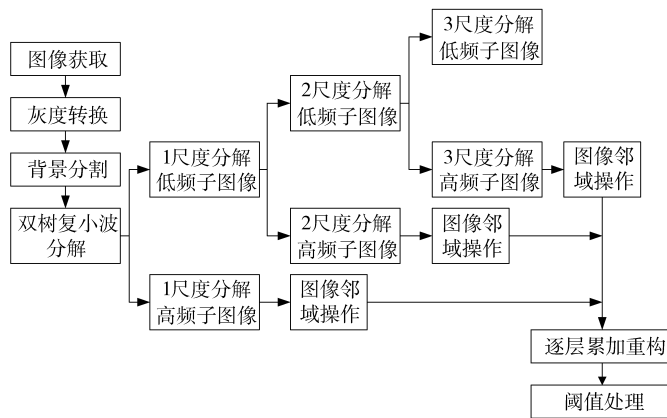


图 2 基于 DT-CWT 和图像邻域操作的哈密瓜纹理提取

Fig. 2 Texture extraction of Hami melon based on DT-CWT and image neighborhood operations

2.2 灰度图转换

从拍摄到的图像中,随机挑选一幅哈密瓜图像,提取 RGB 图像 3 个通道的分量图像,经过分析研究发现,对 R 通道图像 $R(x, y)$ 和 B 通道图像 $B(x, y)$ 执行式(4)的代数运算后^[16-18],哈密瓜纹理特征显著,更有利于后续的纹理特征提取。

$$I(x, y) = R(x, y) - aB(x, y) \quad (4)$$

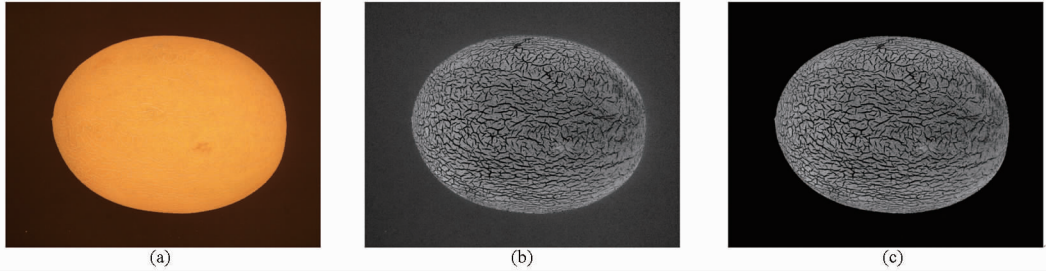


图3 原始图像及背景分割结果

Fig. 3 Original image and its background segmentation result

(a) 原始图像 (b) 灰度图像 (c) 背景分割图像

2.4 双树复小波分解、邻域操作及重构

DT-CWT 不同于常规小波变换,它是由 2 个独立的离散小波分别构成一个复小波的实部和虚部,其复数域小波函数和复数域尺度函数为^[19-22]

$$\begin{cases} \psi(t) = \psi_h(t) + j\psi_g(t) \\ \psi_h(t) = \sqrt{2} \sum_n h_1(n) \phi_h(t) \\ \phi_h(t) = \sqrt{2} \sum_n h_0(n) \phi_h(t) \\ \psi_g(t) = \sqrt{2} \sum_n g_1(n) \phi_g(t) \\ \phi_g(t) = \sqrt{2} \sum_n g_0(n) \phi_g(t) \\ h_1(n) = (-1)^n h_0(d-n) \end{cases} \quad (5)$$

式中 $\psi(t)$ ——复小波 $\psi_h(t)$ ——实奇函数

$j\psi_g(t)$ ——虚偶函数

$\psi_h(t)$ 、 $\psi_g(t)$ ——小波函数

$\phi_h(t)$ 、 $\phi_g(t)$ ——尺度函数

$h_0(n)$ 、 $h_1(n)$ 、 $g_0(n)$ 、 $g_1(n)$ 分别为滤波器。通过式(5)构造一个二维的双树复小波变换函数,复数域小波函数为

$$\begin{aligned} \psi(x, y) &= (\psi_h(x) + j\psi_g(x))(\psi_h(y) + j\psi_g(y)) = \\ &= \psi_h(x)\psi_h(y) - \psi_g(x)\psi_g(y) + j(\psi_g(x)\psi_h(y) + \\ & \quad \psi_h(x)\psi_g(y)) \end{aligned} \quad (6)$$

实部小波函数为

$$\begin{cases} \psi_i(x, y) = \psi_{1,i}(x, y) - \psi_{2,i}(x, y) \\ \psi_{i+3}(x, y) = \psi_{1,i}(x, y) + \psi_{2,i}(x, y) \\ (i = 1, 2, 3) \end{cases} \quad (7)$$

其中, $\psi_{1,i}(x, y)$ 和 $\psi_{2,i}(x, y)$ 分别为 6 个方向上的小波函数,定义为

式中 $I(x, y)$ ——灰度图像, $a = 3.5$

2.3 背景分割

阈值分割技术是一种最简单的图像分割方法,关键在于寻找合适的阈值。本研究在背景分割过程中采用最大类间方差法。该算法是在灰度直方图的基础上利用最小二乘法原理推导出来的,具有统计意义上的最佳分割。背景分割结果如图 3 所示。

$$\begin{cases} \psi_{1,1}(x, y) = \phi_h(x)\psi_h(y) \\ \psi_{2,1}(x, y) = \phi_g(x)\psi_g(y) \\ \psi_{1,2}(x, y) = \psi_h(x)\phi_h(y) \\ \psi_{2,2}(x, y) = \psi_g(x)\phi_g(y) \\ \psi_{1,3}(x, y) = \psi_h(x)\psi_h(y) \\ \psi_{2,3}(x, y) = \psi_g(x)\psi_g(y) \end{cases} \quad (8)$$

虚部小波函数为

$$\begin{cases} \psi_i(x, y) = \psi_{3,i}(x, y) - \psi_{4,i}(x, y) \\ \psi_{i+3}(x, y) = \psi_{3,i}(x, y) + \psi_{4,i}(x, y) \\ (i = 1, 2, 3) \end{cases} \quad (9)$$

其中, $\psi_{3,i}(x, y)$ 和 $\psi_{4,i}(x, y)$ 分别为 6 个方向上的小波函数,定义为

$$\begin{cases} \psi_{3,1}(x, y) = \phi_h(x)\psi_h(y) \\ \psi_{4,1}(x, y) = \phi_g(x)\psi_g(y) \\ \psi_{3,2}(x, y) = \psi_h(x)\phi_h(y) \\ \psi_{4,2}(x, y) = \psi_g(x)\phi_g(y) \\ \psi_{3,3}(x, y) = \psi_h(x)\psi_h(y) \\ \psi_{4,3}(x, y) = \psi_g(x)\psi_g(y) \end{cases} \quad (10)$$

按照式(3)~(7)对图像进行双树复小波分解,可以得到多个分解层,每个分解层有 6 个方向的高频子图像,分别用 $I_{k,\alpha}^a$ 和 $I_{k,\alpha}^b$ 表示,其中, k 表示分解层数, α 表示方向。图像的邻域操作是指输出图像的像素点取值决定于输入图像的某个像素点及其邻域内的像素,通常像素点的邻域是一个远小于图像自身尺寸、形状规则的像素块,如 2×2 正方形、 2×3 矩形或近似圆形的多边形。在本研究中,对哈密瓜图像进行 3 层 DT-CWT 分解,获取每层分解的高频子图像,然后对每层子图像执行邻域块大小为 4×4 的方

差运算,最后通过逐层叠加的方式完成重构。

2.5 阈值处理

利用迭代法获取的最优阈值具有一定的自适应性。在哈密瓜纹理提取过程中,采用迭代阈值法选取最优阈值,迭代精度选取 0.001,迭代步骤参照文献[23]。由于每个哈密瓜的表皮颜色略有差异,并且在实验过程中会存在光照不均的现象,即使迭代阈值法具有一定的自适应性,在纹理特征提取的过程中也会存在误分割,因此需要对阈值进行补偿,经多次试验,确定补偿范围为 $[-0.15, 0.15]$,几种算法的提取结果如图 4 所示。利用 DWT 算法能够检测到哈密瓜表面的纹理特征,但个别区域纹理特征缺失,纹理边缘不连续、不光滑(图 4b);Gabor 小波提取结果有所改善,纹理边缘较光滑,但检测到的纹理特征有缺失(图 4c);文献[5]采用形态学去噪、平滑处理、去背景、阈值分割算法,提取到的纹理边缘光滑、清晰,但是亦存在纹理缺失(图 4d)。此外,上述 3 种算法由于没有采用低频滤波环节,因此在纹理提取过程中存在一定的误分割现象,从而造成哈密瓜顶部纹理与表皮混杂,纹理特征模糊。本文提出基于 DT-CWT 和邻域操作的算法,利用 DT-CWT 良好的方向性,可获取连续、完整的哈密瓜纹理特征,同时采用邻域操作滤除低频信息,克服了纹理与表皮混杂所造成的纹理特征模糊缺陷,并结合迭代阈值法所具有的自适应性,最终获取了连续、完整、光滑、清晰的哈密瓜纹理(图 4a)。

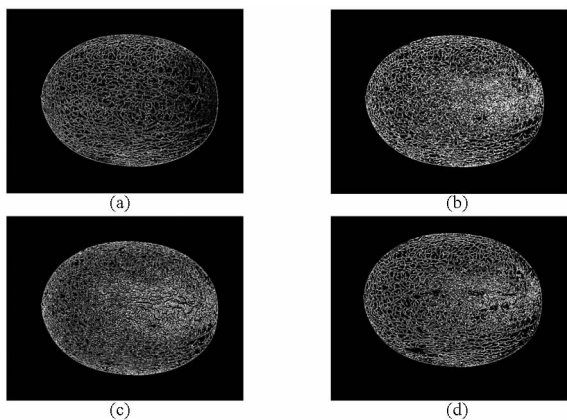


图 4 几种算法的纹理提取结果

Fig. 4 Texture extraction results of several algorithms

- (a) 本文算法提取结果 (b) DWT 提取结果
(c) Gabor 小波提取结果 (d) 数学形态学提取结果

3 哈密瓜纹理特征分析

3.1 纹理特征值描述

本研究采用双树复小波和图像邻域操作相结合的方法,对 168 幅哈密瓜图片(金密 16 号 9 成熟、金密 16 号全熟、金密 17 号 9 成熟、金密 17 号全熟图

片各 42 幅)进行纹理特征提取,并采用灰度差分统计法描述纹理特征。灰度差分统计法是以纹理区域的灰度直方图作为纹理特征,利用图像直方图提取诸如均值、方差、能量及熵等特征来描述纹理。设 (x, y) 为图像中的一点,该点和它只有微小距离的点 $(x + \Delta x, y + \Delta y)$ 的灰度差值为

$$g_{\Delta}(x, y) = g(x, y) - g(x + \Delta x, y + \Delta y) \quad (11)$$

式中 g_{Δ} ——灰度差分

研究中所选取的纹理特征值包括:

$$\text{对比度} \quad C_N = \sum_i i^2 p(i) \quad (12)$$

$$\text{熵} \quad E_T = - \sum_i p(i) \lg p(i) \quad (13)$$

$$\text{能量} \quad E_N = \sum_i (p_{\Delta}(i))^2 \quad (14)$$

式(12)~(14)中, $p(i)$ 是灰度差分 g_{Δ} 的取值概率。根据公式计算出所有样本的 3 种纹理特征值,其均值如表 1 所示。

表 1 哈密瓜纹理特征值均值

Tab. 1 Mean values of Hami melon texture feature

样本种类	特征值均值		
	对比度	熵	能量
金密 16 号 9 成熟	1.3082×10^3	1.8533	1.4897×10^6
金密 16 号全熟	9.0310×10^3	2.5090	2.2723×10^6
金密 17 号 9 成熟	1.4251×10^3	1.7160	1.3127×10^6
金密 17 号全熟	1.0782×10^3	1.8227	1.6387×10^6

由图 5 所示的拟合曲线可知,金密 16 号 9 成熟哈密瓜对比度范围为 1 250 ~ 1 350,金密 16 号全熟哈密瓜纹理对比度范围为 650 ~ 950,金密 17 号 9 成熟哈密瓜纹理对比度范围为 1 350 ~ 1 500,金密 17 号全熟哈密瓜纹理对比度范围为 1 000 ~ 1 200。4 种样本之间的纹理能量范围为:金密 16 号 9 成熟 $1.3 \times 10^6 \sim 1.6 \times 10^6$,金密 16 号全熟 $2.1 \times 10^6 \sim 2.5 \times 10^6$,金密 17 号 9 成熟 $1.2 \times 10^6 \sim 1.4 \times 10^6$,金密 17 号全熟 $1.5 \times 10^6 \sim 1.7 \times 10^6$ 。金密 16 号 9 成熟、金密 17 号 9 成熟和全熟哈密瓜之间的纹理熵无明显差异,其范围均在 1.6 ~ 2.0 之间。金密 16 号全熟哈密瓜纹理熵略大,在 2.4 ~ 2.7 之间。

3.2 基于 SVM 的纹理分类

SVM 是一个凸二次规划问题,由 Vapnik 首先提出,在模式分类问题上 SVM 具有很好的泛化性^[24-25]。本次实验中选用 4 类哈密瓜样本图片共 168 幅,对每个样本进行纹理提取,获取 3 个纹理特征值,然后将这 168 个样本的 50% 作为训练集,另 50% 作为测试集,采用 SVM 建立哈密瓜分类模型。用得到的模型对测试集进行分类预测,分类准确率见表 2。其中,采用 $[-1, 1]$ 归一化预处理后,选用

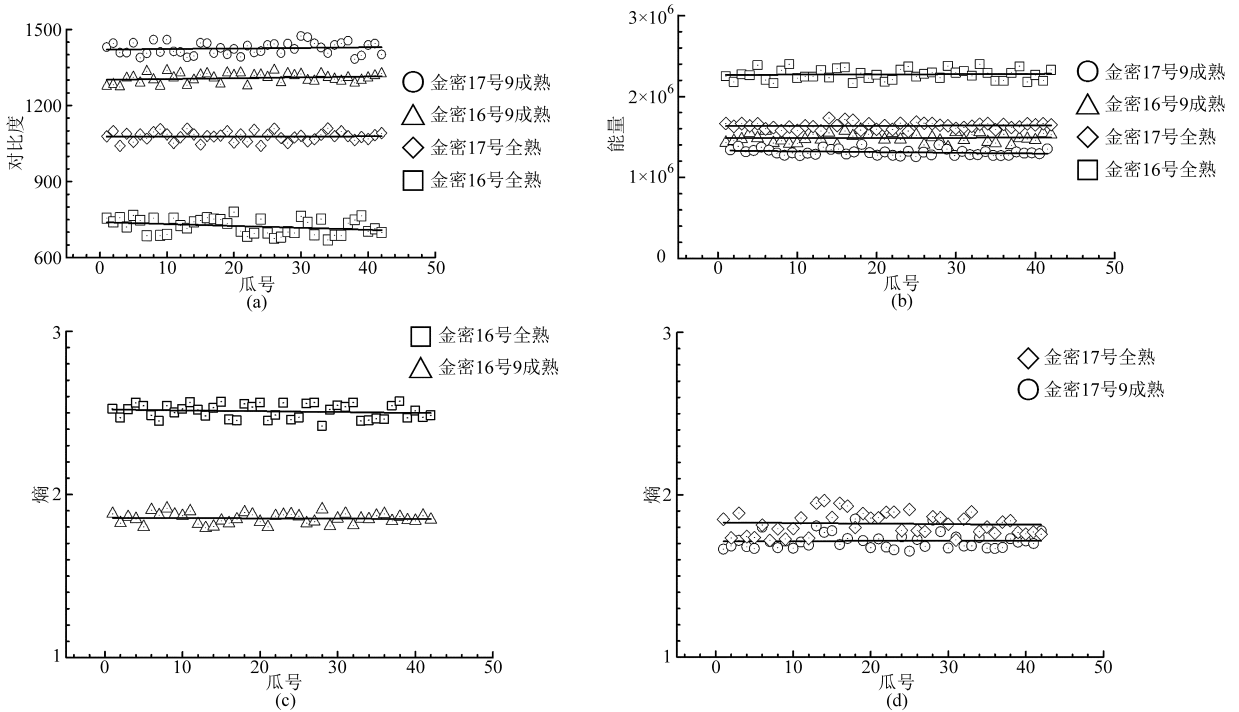


图5 哈密瓜纹理特征值拟合曲线

Fig.5 Fitting curve of Hami melon texture feature values

径向基核函数所得到的分类准确率最高,达到89.3%,实测集分类和预测集分类图见图6。

表2 不同核函数和归一化方式下的分类准确率对比
Tab.2 Accuracy comparison under different kemets and normalizations

采用的核函数	归一化处理方式	分类准确率/%
线性核函数	[0, 1]	59.5
	[-1, 1]	72.6
多项式核函数	[0, 1]	71.7
	[-1, 1]	77.4
径向基核函数	[0, 1]	70.2
	[-1, 1]	89.3
两层感知器核函数	[0, 1]	59.5
	[-1, 1]	72.6

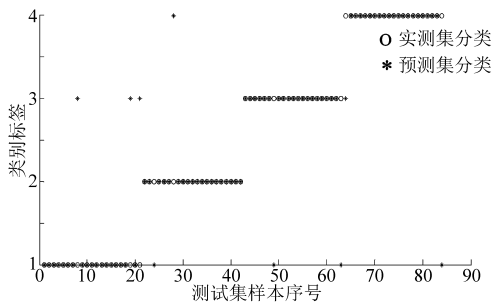


图6 测试集分类和预测集分类图

Fig.6 Classification map of test set and prediction set

类别1—金密16号9成熟 类别2—金密16号全熟
类别3—金密17号9成熟 类别4—金密17号全熟

3.3 纹理频谱分析

基于傅里叶频谱的纹理频谱度量可根据纹理的

频谱有效地判别周期纹理和非周期纹理。用极坐标函数 $S(r, \theta)$ 表示哈密瓜纹理频谱,其中

$$\begin{cases} S(r) = \sum_{\theta=0}^{\pi} S_{\theta}(r) \\ S(\theta) = \sum_{r=1}^{R_0} S_r(\theta) \end{cases} \quad (15)$$

式中 S ——频谱函数

r, θ ——极坐标中的变量

R_0 ——中心在原点的圆的半径

绘制哈密瓜纹理频谱曲线如图7所示。分析曲线可知,在 $S(r)$ 曲线上无明显峰值,另一方面,在 $S(\theta)$ 曲线上也无明显的周期性变化,这表明哈密瓜纹理频谱图中无很强的周期分量。

4 结论

(1)提出了一种基于DT-CWT和图像邻域操作相结合的算法,该算法用于哈密瓜纹理特征提取可获得到更加连续、完整的哈密瓜纹理图像,从而为基于纹理的哈密瓜品质自动分级奠定基础。

(2)利用灰度差分统计法描述4种哈密瓜纹理特征,得到其对比度由大到小为:金密17号9成熟、金密16号9成熟、金密17号全熟、金密16号全熟;纹理能量由大到小为:金密16号全熟、金密17号全熟、金密16号9成熟、金密17号9成熟,根据哈密瓜纹理特征值建立基于SVM的纹理分类模型,分类准确率为89.3%,为今后实现基于纹理的哈密瓜成

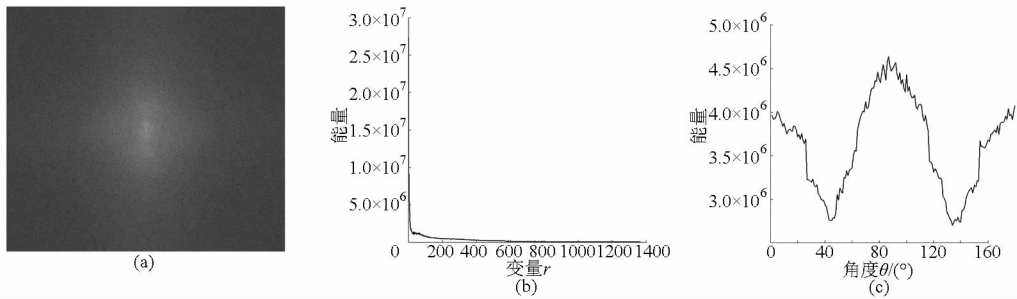


图 7 哈密瓜纹理频谱曲线

Fig. 7 Texture spectral curve of Hami melon

(a) 哈密瓜纹理频谱图 (b) $S(r)$ 曲线 (c) $S(\theta)$ 曲线

熟度检测分级提供理论依据。

纹理无周期性。

(3) 纹理特征频谱分析结果表明, 哈密瓜表面

参 考 文 献

- 1 GB/T23398—2009 地理标志产品 哈密瓜[S].
- 2 Haralick R M, Shanmugan K, Dinstein I. Texture features for image classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1973, 3(6):610–621.
- 3 Unser M. Texture classification and segmentation using wavelet frames[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(11):1549–1560.
- 4 杨福增, 王峥, 韩文霆, 等. 基于小波变换的红枣裂沟的多尺度边缘检测[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6):92–95.
Yang Fuzeng, Wang Zheng, Han Wenting, et al. Wavelet transform-based multiscale edge detection of dehiscence furrow in Chinese data image[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(6):92–95. (in Chinese)
- 5 肖文东, 马本学. 基于 OpenCV 哈密瓜纹理特征的提取[J]. 石河子大学学报:自然科学版, 2011, 29(1):107–110.
Xiao Wendong, Ma Benxue. The image texture extraction of hami melon based on OpenCV[J]. Journal of Shihezi University: Nature Science, 2011, 29(1):107–110. (in Chinese)
- 6 孟大伟. 基于纹理信息的水果图像识别方法仿真研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(12):293–296.
Meng Dawei. Texture information based method simulation for fruit identification[J]. Computer Simulation, 2011, 28(12):293–296. (in Chinese)
- 7 王魏, 冯全, 杨梅. 基于灰度共生矩阵和分形的哈密瓜表皮网状纹理分析[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(3):138–142.
Wang Wei, Feng Quan, Yang Mei. Netlike texture analysis of hami melon using parameters based on GLCM and fractal[J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 17(3):138–142. (in Chinese)
- 8 Pál J M. Fruits and vegetables[J]. Food Quality and Standards, 2009, 2:168–195.
- 9 Chen L, Opara U L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods[J]. Food Research International, 2013, 51(2):823–835.
- 10 石宏理, 胡波. 双树复小波变换及其应用综述[J]. 信息与电子工程, 2007, 5(3):229–234.
Shi Hongli, Hu Bo. Survey of dual-tree complex wavelet transform and its applications[J]. Information and Electronic Engineering, 2007, 5(3):229–234. (in Chinese)
- 11 Kingsbury N G. The dual-tree complex wavelet transform: a new efficient tool for image restoration and enhancement[C] // Proceedings of the European Signal Processing Conference, 1998:319–322.
- 12 Kingsbury N G. The dual-tree complex wavelet transform: a new technique for shift invariance and directional filters[C] // Proceedings of the 8th IEEE DSP Workshop, 1998:86–90.
- 13 黄媛媛. 基于小波的纹理特征提取算法研究[D]. 镇江:江苏科技大学, 2012.
Huang Yuanyuan. Texture feature extraction algorithm based on wavelet[D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2012. (in Chinese)
- 14 宋怡焕, 饶秀勤, 应义斌. 基于 DT-CWT 和 LS-SVM 的苹果果梗/花萼和缺陷识别[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9):114–118.
Song Yihuan, Rao Xiuqin, Ying Yibin. Apple stem/calyx and defect discrimination using DT-CWT and LS-SVM[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(9):114–118. (in Chinese)
- 15 李锋霞, 马本学, 何青海, 等. 哈密瓜坚实度的高光谱无损检测技术[J]. 光子学报, 2013, 42(5):592–595.
Li Fengxia, Ma Benxue, He Qinghai, et al. Non-destructive detection of firmness of Hami melon by hyperspectral imaging technique[J]. Acta Photonica Sinica, 2013, 42(5):592–595. (in Chinese)

- 16 王福杰, 饶秀勤, 应义斌. 苹果图像的背景分割与目标提取[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1):196-199.
Wang Fujie, Rao Xiuqin, Ying Yibin. Back ground segmentation and object extraction of apples images[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(1):196-199. (in Chinese)
- 17 李江波, 饶秀勤, 应义斌. 水果表面亮度不均校正及单阈值缺陷提取研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8):159-164.
Li Jiangbo, Rao Xiuqin, Ying Yibin. Correction algorithm of illumination nonuniformity on fruit surface and defects extraction using single threshold value[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8):159-164. (in Chinese)
- 18 李江波, 饶秀勤, 应义斌, 等. 基于掩膜及边缘灰度补偿算法的脐橙背景及表面缺陷分割[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12):133-137.
Li Jiangbo, Rao Xiuqin, Ying Yibin, et al. Background and external defects segmentation of navel orange based on mask and edge gray value compensation algorithm[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12):133-137. (in Chinese)
- 19 Kingsbury N G. Image processing with complex wavelets[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1999, 357(1760):2543-2560.
- 20 Kingsbury N G. Complex wavelets for shift invariant analysis and filtering of signals[J]. Journal of Applied and Computational Harmonic Analysis, 2001, 10(3):234-253.
- 21 Selesnick I W, Baraniuk R G, Kingsbury N G. The dual-tree complex wavelet transform: a coherent framework for multiscale signal and image processing[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2005, 11(5):123-151.
- 22 黄媛媛, 张尤赛. 双树复小波域共生矩阵的纹理特征提取方法[J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(7):216-217.
Huang Yuanyuan, Zhang Yousai. Texture feature extraction method with dual-tree complex wavelet domain co-occurrence matrix[J]. Computer Applications and Software, 2012, 29(7):216-217. (in Chinese)
- 23 杨丹, 赵海滨, 龙哲, 等. MATLAB 图像处理实例详解[M]. 北京:清华大学出版社, 2013:239-240.
- 24 王小川, 史峰, 郁磊, 等. MATLAB 神经网络 43 个案例分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2013:120-126.
- 25 练秋生, 尚燕, 陈书贞, 等. 基于 DT-CWT 和 SVM 的纹理分类算法[J]. 光电工程, 2007, 34(4):109-113.
Lian Qiusheng, Shang Yan, Chen Shuzhen, et al. Texture classification algorithm based on DT-CWT and SVM[J]. Opto-Electronic Engineering, 2007, 34(4):109-113. (in Chinese)

Texture Extraction of Hami Melon Based on Dual-tree Complex Wavelet Transform and Neighborhood Operation

Ma Benxue^{1,2} Gao Guogang¹ Wang Bao¹ Lü Chen¹ Zhang Wei^{1,2} Zhu Rongguang^{1,2}

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China

2. Agricultural Machinery Key Laboratory of Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi 832003, China)

Abstract: In order to investigate the distribution feature of surface texture, 168 images of Hami melon samples from two different varieties in two kinds of ripeness were acquired. The algebra operations were conducted in terms of R , G , B components, and the gray images were obtained to implement the background segmentation. Then, the images were decomposed by dual-tree complex wavelet transform (DT-CWT) to obtain high frequency sub-images. Following the neighborhood operation, the extraction results were derived from selecting the optimal thresholds by iterative method. Finally, the methods of gray-scale differential statistics and texture frequency analysis were used to analyze the texture feature, support vector machine (SVM) was employed to build a model for texture classification. Results of computer simulation indicated that more continuous and complete images were obtained when DT-CWT and image neighborhood operation were employed to extract texture. There were significant differences among texture eigenvalues of four types of Hami melons, and the accuracy rate of classification was 89.3%. In addition, periodic characteristic was not found from the appearance texture.

Key words: Hami melon Dual-tree complex wavelet transform Neighborhood operation Texture extraction Texture description