

基于小波与模糊相融合的苹果分级算法

Research on apple classification algorithm based on wavelet and fuzzy

赵利平 吴德刚

ZHAO Li-ping WU De-gang

(商丘工学院, 河南 商丘 476000)

(Shangqiu Institute of Technology, Shangqiu, Henan 476000, China)

摘要:为了准确获取苹果图像的边缘,实现苹果自动分级,提出一种基于小波与模糊相融合的苹果分级算法。对苹果图像进行全向小波变化,经模糊算法处理,通过自适应阈值,提取出苹果图像的边缘,再利用漫水填充算法,获取苹果图像的面积,根据苹果类圆特性,将面积转换为直径,并根据直径大小,完成苹果分级。仿真试验结果表明,该算法对3个级别苹果的分级正确率均在98%以上,说明该算法能够用于苹果的分级检测。

关键词:小波变换;模糊算法;自适应阈值;漫水填充;边缘检测;苹果分级

Abstract: An apple classification algorithm based on wavelet and fuzzy is proposed in order to get the edge of apple image accurately and realize apple automatic classification. Firstly, the apple image is transformed by omnidirectional wavelet, and then processed by fuzzy algorithm. The edge of the apple image is extracted by adaptive threshold, and then the area of the apple image is obtained by using the diffuse filling algorithm. Finally, according to the characteristics of the apple quasi circle, the area is transformed into the straight diameter, and the apple classification is completed according to the diameter. The simulation results show that the accuracy of the algorithm is more than 98% for three grades of apples, which shows that the algorithm can be used in the classification detection of apples.

Keywords: wavelet transform; fuzzy algorithm; adaptive threshold; overflow filling; edge detection; apple grading

苹果分级是苹果采摘后,销售前的一个关键环节,是实现苹果按级定价的前提。传统人工分级方法,不仅效率低,而且容易伤果^[1]。随着机器视觉技术的发展,智能

自动分级成了当今苹果分级的主要趋势,而大小又是分级的主要参考依据^[2]。实现苹果大小自动分级的关键在于苹果图像边缘的检测,当前图像边缘检测的方法除了Sobel、Prewitt、LOG等经典算法^[3],还有数学形态学、蚁群、模糊、小波等新型算法^[4]。Sobel、Prewitt和LOG算法虽然计算速度较快且有一定的抗噪能力,但边缘检测精度低;数学形态学算法具有检测快的优点,但不能用于背景复杂的图像;蚁群算法仅可用于简单图像的边缘检测,没有得到推广;模糊算法的边缘检测效果较好,但抗高斯噪声的能力不强;小波算法具有抗噪的优点,但存在信息冗余的缺点^[5]。小波变换可以有效抑制噪声,利用小波变换幅值代替传统模糊算法的梯度、领域灰度差值作为模糊系统的输入,可以克服传统模糊算法存在的易受噪声干扰和边缘丢失、漏检等缺陷。漫水填充法是获得图像边缘包围区域面积的一种简单的方法,不仅简单、易实现,而且对于含有内孔的区域也有着很好的填充效果。鉴于此,研究拟将小波和模糊算法相融合,用于苹果顶视图图像边缘的检测,利用漫水填充法获得顶视图的面积,再根据苹果顶视图类圆的特性将面积转换为直径,最终完成苹果的自动分级。

1 全向小波变换

1.1 全波变换理论

首先利用二维低通平滑函数求导得到二维小波函数,然后在合适尺度下对图像在 $0 \sim 180^\circ$ 的选定方向上进行小波变换,寻找极大值,然后根据阈值判定边缘^[6]。

设二维低通平滑函数为 $\theta(x, y)$,则二维小波函数如式(1)所示。

$$\begin{cases} \psi^x(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x} \\ \psi^y(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y} \end{cases} \quad (1)$$

若尺度 $s = 2^j$,则得到二维小波函数如式(2)所示。

基金项目:河南省高等学校青年骨干教师培养计划项目(编号:2018GGJS190)

作者简介:赵利平,女,商丘工学院讲师,学士。

通信作者:吴德刚(1980—),男,商丘工学院副教授,硕士。

E-mail: wudegang81@126.com

收稿日期:2019-03-01

$$\begin{cases} \psi_{2^j}^x(x, y) = \frac{1}{2^{2j}} \psi^x\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \\ \psi_{2^j}^y(x, y) = \frac{1}{2^{2j}} \psi^y\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \end{cases} \quad (2)$$

当输入函数为 $f(x, y)$ 时, 在 x 和 y 两个方向的分量如式(3)所示。

$$\begin{bmatrix} W_{2^j}^x f(x, y) \\ W_{2^j}^y f(x, y) \end{bmatrix} = 2^j \begin{bmatrix} \frac{\partial f \times \theta_{2^j}(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f \times \theta_{2^j}(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix} = 2^j \vec{\nabla}(f \times \theta_{2^j})(x, y) \quad (3)$$

二维小波变换的模和相角分别如式(4)、(5)所示。

$$M_{2^j} f(x, y) = \sqrt{|W_{2^j}^x f(x, y)|^2 + |W_{2^j}^y f(x, y)|^2} \quad (4)$$

$$A_{2^j} f(x, y) = \arctan \frac{|W_{2^j}^y f(x, y)|}{|W_{2^j}^x f(x, y)|} \quad (5)$$

在尺度为 s , 方向为 β 的全向小波变换如式(6)所示。

$$\begin{aligned} W_s^\beta f(x, y) &= f(x, y) \times g(x, y, \beta) = f(x, y) \times \\ &[\psi^x(x, y) \cos \beta + \psi^y(x, y) \sin \beta] = \|W_s f(x, y)\| \\ &\begin{bmatrix} \frac{W_s^x f(x, y)}{\|W_s f(x, y)\|} \cos \beta + \frac{W_s^y f(x, y)}{\|W_s f(x, y)\|} \sin \beta \end{bmatrix} \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{cases} W_{2^j}^x f(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f(x-m, y-n) \times m \times \exp\left(-\frac{m^2+n^2}{2 \times 4^j \times \sigma^2}\right) \times \left(-\frac{2 \times 2^j}{(-2 \times 4^j \times \sigma^2)^2 \pi}\right) \\ W_{2^j}^y f(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f(x-m, y-n) \times n \times \exp\left(-\frac{m^2+n^2}{2 \times 4^j \times \sigma^2}\right) \times \left(-\frac{2 \times 2^j}{(-2 \times 4^j \times \sigma^2)^2 \pi}\right) \end{cases} \quad (11)$$

式中:

m, n ——小波变换的窗口大小。

文中选择 3×3 的小波变换窗口, 方向选择 $0^\circ, \pm 45^\circ, \pm 90^\circ, \pm 135^\circ, 180^\circ$ 8 个方向。

2 模糊算法处理

(1) 确定模糊系统的输入, 考虑到传统模糊算法采用像素差作为输入存在易受噪声干扰的缺陷^[7-8], 文中选用 3×3 窗口的 $0^\circ, \pm 45^\circ, \pm 90^\circ, \pm 135^\circ, 180^\circ$ 8 个方向的小波变换幅值作为模糊输入。小波变换窗口和幅值如图 1 所示。

(2) 选择合适的隶属度函数, 考虑到高斯函数没有零点且具有平滑的特性, 因此选用高斯函数作为模糊系统的输入和输出隶属度函数, 其函数式如式(12)所示。输入变量归一化处理, 其范围为 $[0, 1]$ 。输入隶属度函数的模糊集对应的语言变量定义为低、中、高, 输出隶属度函数的模糊集对应的语言变量定义为非边缘和边缘。高斯函数的参数设置如表 1、2 所示。

$$f(a; m, d) = e^{-\frac{(a-m)^2}{3d^2}} \quad (12)$$

式中:

$$\text{因此, } \text{mod}[W_s(x, y)] = \max[W_s^\beta f(x, y)] \quad (7)$$

从式(7)可以看出, 全向小波变换的最大值与函数平滑后的梯度模相等, 因此可以借助沿全向小波变换的极大值, 进行图像边缘的检测。

1.2 全波变换应用

考虑苹果图像边缘具有方向不确定的特点, 选择方差为 σ^2 的二维高斯函数作为低通平滑函数, 具体如式(8)所示。

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (8)$$

将式(8)带入式(2)得到二维小波函数如式(9)所示。

$$\begin{cases} \psi_{2^j}^x(x, y) = \frac{2 \times 2^j x}{(2 \times 4^j \sigma^2) \pi} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2 \times 4^j \sigma^2}\right) \\ \psi_{2^j}^y(x, y) = \frac{2 \times 2^j y}{(2 \times 4^j \sigma^2) \pi} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2 \times 4^j \sigma^2}\right) \end{cases} \quad (9)$$

则沿水平和垂直两个方向上的小波变换如式(10)所示。

$$\begin{cases} W_{2^j}^x f(x, y) = f(x, y) \times \psi_{2^j}^x(x, y) \\ W_{2^j}^y f(x, y) = f(x, y) \times \psi_{2^j}^y(x, y) \end{cases} \quad (10)$$

由式(9)、(10)可以推出小波变换的幅值如式(11)所示。

a ——变量;

m, d ——高斯函数参数。

小波变换幅值 $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8$ 为输入, 像素点 A_5 为输出, 模糊规则:

If B_1 and B_2 and B_3 and B_4 and B_5 and B_6 and B_7 and B_8 为中, then A_5 为边缘像素点;

表 1 模糊推理系统输入 $B_1 \sim B_4$

Table 1 Fuzzy inference system input $B_1 \sim B_4$

语言变量	参数	范围
低	[0.1 0]	[0 1]
中	[0.15 0.5]	[0 1]
高	[0.1 1]	[0 1]

表 2 模糊推理系统输出 Z

Table 2 Fuzzy inference system output Z

语言变量	参数	范围
非边缘	[0.01 0.1]	[0 1]
边缘	[0.01 0.8]	[0 1]

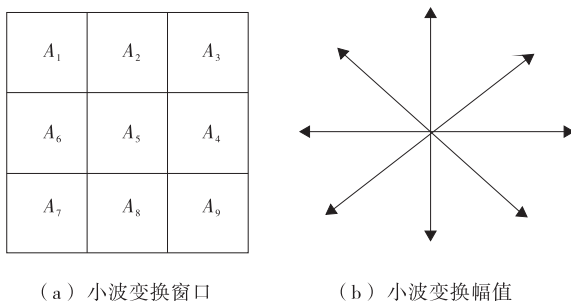


Figure 1 Window and amplitude of wavelet transform

If B_2 and B_3 and B_4 and B_5 and B_6 and B_7 and B_8 为中 and B_1 为低, then A_5 为边缘像素点;

If B_1 and B_3 and B_4 and B_5 and B_6 and B_7 and B_8 为中 and B_2 为低, then A_5 为边缘像素点;

If B_1 and B_2 and B_4 and B_5 and B_6 and B_7 and B_8 为中 and B_3 为低, then A_5 为边缘像素点;

If B_1 and B_2 and B_3 and B_5 and B_6 and B_7 and B_8 为中 and B_4 为低, then A_5 为边缘像素点;

If B_1 and B_2 and B_3 and B_4 and B_6 and B_7 and B_8 为中 and B_5 为低, then A_5 为边缘像素点;

If B_1 and B_2 and B_3 and B_4 and B_5 and B_7 and B_8 为中 and B_6 为低, then A_5 为边缘像素点;

If B_1 and B_2 and B_3 and B_4 and B_5 and B_6 and B_8 为中 and B_7 为低, then A_5 为边缘像素点;

If B_1 and B_2 and B_3 and B_4 and B_5 and B_6 and B_7 为中 and B_8 为低, then A_5 为边缘像素点;

If B_1 or B_2 or B_3 or B_4 or B_5 or B_6 or B_7 or B_8 为高, then A_5 为边缘像素点;其余情况 A_5 为非边缘像素点。

(3) 通过自适应阈值得到苹果图像边缘,具体如式(13)所示。

$$z = \begin{cases} \text{边缘点}, z^* \geq T \\ \text{非边缘点}, z^* < T \end{cases} \quad (13)$$

式中:

z^* ——像素点 z 去模糊后的值;

T ——自适应阈值,可根据式(14)求得。

$$T = \max[(0.6 \times k + 0.3 \times z_{\max}^*), z_{\text{avc}}^*], \quad (14)$$

式中:

k ——去模糊后图像经过最大类间方差分类得到值;

$z_{\max}^*$ ——去模糊后图像的最大像素值;

z_{avc}^* ——去模糊后图像在 3×3 窗口的像素平均值。

3 漫水填充

利用漫水填充的方法获取苹果顶视图边缘图像的面积,漫水填充方法的基本原理是在苹果顶视图边缘图像

内部标记一个像素点作为种子点,将其与相邻像素点进行灰度值比较,若灰度值一致,就对其进行填充,再将该填充后的像素点作为新的种子,直到所有苹果顶视图所有的像素点被填充完。

采用 $0^\circ, \pm 45^\circ, \pm 90^\circ, \pm 135^\circ, 180^\circ$ 8 个方向进行搜索填充,利用填充像素点的数量,表示苹果顶视图的面积,再利用苹果顶视图类圆的特性,将面积转化为直径。

4 分级试验

选择红富士苹果作为检测对象,在同一光照条件下,将 CCD 照相机固定于苹果上方 10 cm 处,垂直采集不同级别苹果的顶视图,将图像处理成 256×256 像素,在 VC++6.0 软件开发环境中,实现苹果图像的边缘检测和分级处理。

对红富士苹果进行分级试验,苹果分级标准为一级果直径 80 mm 以上;二级果直径 70~80 mm;三级果直径 65~70 mm。采用融合小波变换的模糊算法进行边缘检测,利用漫水和类圆处理获得苹果直径,一级、二级和三级苹果的处理结果如图 2~4 所示。

为了将苹果的实际直径与图像处理获得的直径对接好,同时获得苹果图像的分级阈值,选择了直径为 80, 70, 65 mm 的富士苹果各 30 个进行测试,每类苹果图像的均值即为苹果分级阈值,具体参数如表 3 所示。

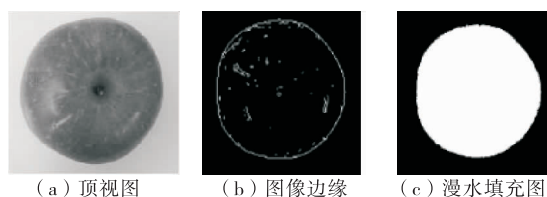


Figure 2 First grade fruit treatment process

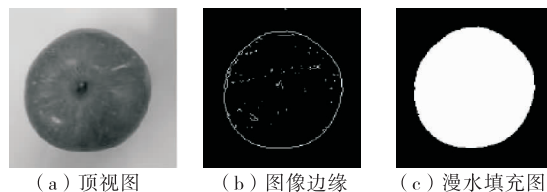


Figure 3 Secondary fruit treatment process

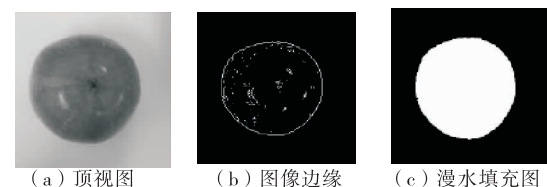


Figure 4 Tertiary fruit treatment process

表 3 苹果阈值对照

Table 3 Comparison of apple threshold

真实阈值/mm	图像阈值
80	190
70	166
65	134

由表 3 可知,苹果图像直径超过 190 的属于一级果,166~190 的属于二级果,134~166 的属于三级果。

为了测试文中算法的正确性,选取了 200 个含有 3 个类别的富士苹果进行分级测试,分级测试结果如表 4 所示。

表 4 分级测试结果

Table 4 Grading test results

级别	数量	正确分级数量	分级正确率/%
一级	50	50	100.00
二级	80	79	98.75
三级	70	69	98.57

从表 4 可以看出,文中提出的分级算法对一级、二级和三级富士苹果的分级正确率均>98%,能够满足苹果分级的需要。

5 结束语

针对传统模糊算法存在易受噪声干扰、边缘检测不完整等问题,提出将小波变换融合到传统模糊算法中,用小波变换代替梯度、领域差值作为模糊系统的输入,对

图像边缘的正确检测起到了很好的作用,采用自适应阈值保证了图像边缘的连续性和完整性不受人为影响,采用漫水填充简易算法实现了图像边缘区域的面积获得。通过试验测试发现,该混合分级算法对于一级、二级和三级富士苹果的分级正确率均>98%,完全能够满足苹果分级的需要。但是,该算法对于不规则苹果的分级还有一定的误差,需要进一步研究和改进。

参考文献

[1] 王丹丹,宋怀波,何东健,等. 苹果分级机器人视觉系统研究进展[J]. 农业工程学报, 2017, 33(11): 59-69.

[2] 陈乾辉,吴德刚. 一种新型苹果果实特征提取算法[J]. 食品与机械, 2018, 34(2): 124-128.

[3] 于蒙,李雄,杨海潮,等. 基于图像识别的苹果的等级分级研究[J]. 自动化与仪表, 2019, 34(7): 39-43.

[4] 刁智华,刁春迎,袁万宾,等. 基于改进型模糊边缘检测的小麦病斑阈值分割算法[J]. 农业工程学报, 2018, 34(10): 147-145.

[5] 石瑞瑶,田有文,赖兴涛,等. 基于机器视觉的苹果品质在线分级检测[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(3): 80-86.

[6] 车敏,张红梅,拓明福,等. 小波变换与边缘信息的光谱图像融合研究[J]. 激光杂志, 2019, 40(11): 75-79.

[7] 赵新秋,秦昆阳,冯斌,等. 基于模糊推理的边缘检测算法[J]. 中国测试, 2018, 44(5): 1-5.

[8] MELIN P, GONZALEZ C I, CASTRO J R, et al. Edge -detection method for image processing based on generalized type-2 fuzzy logic[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2014, 22(6): 1 515-1 525.

(上接第 136 页)

条件的变化对稻谷发芽率的影响较大,杂交稻比粳稻更耐储存。丙二醛易受贮藏条件和品种的影响,其含量普遍呈先上升后下降趋势,其中秀水 14 的抗逆性较好。5 种优质稻谷的脂肪酸组分大致相同,且不同稻谷同一组分间的变化趋势一致,说明稻谷的脂肪酸组分在短时贮藏过程中相对较为稳定。后续可通过对稻谷进行多指标的测定以及转录组分析,探究稻谷内部引起脂肪酸变化的因子。

参考文献

[1] 唐芳,程树峰,伍松陵. 稻谷储藏危害真菌生长规律的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(6): 98-101.

[2] 石嘉伟,张檬达,鞠兴荣. 响应面法优化粳稻挥发性成分 SPME 萃取条件的研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(12): 120-125.

[3] 袁道骥,史韬琦,王月慧,等. 水分对低温储藏优质稻品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(6): 6-11.

[4] 吴晓娟,吴伟,高崇明,等. 压盖导流通风降温技术对储藏稻谷品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 132-135.

[5] 杨丹,罗小虎,齐丽君,等. 电子束辐照对稻米储藏特性及

品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 106-110.

[6] 朱玫,熊宁,田国军,等. 优质籼稻储藏品质控制指标的确定[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(2): 60-66.

[7] UMAPORN U, NITSARA K. Metabolomics for rice quality and traceability: Feasibility and future aspects[J]. Current Opinion in Food Science, 2019, 28(1): 58-66.

[8] 许光利. 稻米脂类对品质的影响及脂类代谢对高温弱光的响应[D]. 成都: 四川农业大学, 2017: 16-24.

[9] 田宏,邵麟惠,熊军波,等. 扁穗雀麦种子休眠期和发芽特性的初步研究[J]. 种子, 2016, 35(10): 83-86.

[10] 张玉荣,周显青,刘敬婉. 加速陈化对梗稻的营养组分及储藏、加工品质的影响[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2017, 38(5): 37-44.

[11] 胡吟. 稻谷加速陈化期间脂质变化的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018: 15.

[12] VERMA D K, SRIVASTAV P P. Proximate composition, mineral content and fatty acids analyses of aromatic and non-aromatic Indian rice[J]. Rice Science, 2017, 24(1): 21-31.

[13] 赵翠格,刘頔,李凤兰,等. 植物种子油脂的生物合成及代谢基础研究进展[J]. 种子, 2010, 29(4): 56-62.