

基于小波矩的大豆外观品质特征提取方法的研究

柴玉华, 孙玮璘

(东北农业大学 电气与信息学院 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 应用机器视觉技术对大豆的外观品质进行检测成为近年来的研究热点,大豆的外观特征提取是检测的重要内容之一。为提高大豆样本的识别率,减少噪声对特征提取造成的污染,提出了一种基于小波矩的大豆外观品质特征提取方法。该方法对大豆样本图像进行基于小波变换的不变矩特征提取,有效地解决了由于大豆本身存在的大小不同、移动等造成的特征不明的问题。试验证明:此方法不仅能够精确地描述大豆外观品质特征而且对噪声不敏感,此方法识别精度高,正确识别率达到99%。

关键词: 大豆; 机器视觉; 小波矩; 特征提取

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2016.04.0679

Study on the Method of Extracting the Appearance Quality of Soybean Based on Wavelet Moment

CHAI Yu-hua, SUN Wei-lin

(College of Electrical and Information, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Using of machine vision technology in detecting the appearance quality of soybean has become a hot spot in recent years. It is one of the important contents for the extraction of soybean sample image. In order to improve the recognition rate and reduce the noise pollution, a new method of extracting the appearance quality of soybean based on wavelet moment has been proposed. The algorithm is based on the wavelet transform of the image of the soybean sample, which can effectively solve the problem of the size and movement of the soybean itself. Results showed that this method can not only accurately describe the characteristics of the appearance quality of soybeans, but also is not sensitive to the noise. This method achieved high recognition accuracy and correct recognition rate reached 99%.

Keywords: Soybean; Machine vision; Wavelet moment; Feature extraction

大豆是植物蛋白和食用油的主要来源,其食用性、经济性、药用性价值较高^[1]。黑龙江省在大豆的种植、收割过程中常会出现混种现象,导致大豆的品质参差不齐,因此大豆的品质检测极为重要。但是,目前大部分地区还使用人工手段进行大豆品质检测,该方法事倍功半。应用机器视觉技术进行大豆外观品质检测可以避免获取大豆样本图像时环境因素的影响,提高大豆样本图像的质量,为后续的大豆外观品质特征提取奠定良好的基础^[2]。

1999年,Chitioui等^[2]用机器视觉技术,利用从彩色图像中提取的35个特征参数对大豆进行区分。目前,在形状、颜色以及纹理等方面,对于大豆外观品质的特征提取已经有一定的理论基础,在机器视觉技术上研究的可行性也已经被验证^[3]。但是所提取的特征参数不但数据量庞大,在提取的过程中稍有移动或者存在噪声,就会影响最终的结果。

为减少对识别结果的影响,提高大豆的识别率,本文提出一种基于小波矩的大豆外观品质特征

提取方法,不仅具有良好的平移、旋转和缩放不变性,抗噪声干扰能力也很强,而且包含小波分析的多分辨率特征^[4],不但可以提取图像的全局特征,也能提取图像的局部特征,从而对大豆的外观品质精细特征准确把握^[5]。

1 试验装置与材料

1.1 材料

本文选择被广泛种植的大豆品种东农41、东农42、东农43、东农47、东农51、东农52、东农53、东农54、东农56和东农61共10份(东北农业大学大豆研究所提供)作为研究对象,每份100粒,共计1000粒。图1为其中5粒大豆籽粒图像。



图1 大豆样本图像

Fig. 1 Soybean sample image

收稿日期: 2016-01-06

基金项目: 黑龙江省自然科学基金重点项目(ZD201303)。

第一作者简介: 柴玉华(1965-),女,教授,博导,主要从事模式识别与智能控制研究。E-mail: 1479186895@qq.com。

1.2 试验装置

如图2所示,本文所采用的机器视觉系统主要由置物台、稳压灯源、镜头、CCD 摄像机、图像采集卡以及台式计算机组成。



图2 机器视觉系统

Fig. 2 Machine vision system

其中,选择LED灯作为灯源,远心镜头型号为XF-5MDT0.5X65D,摄像机型号为SONY EFFIO-E CCD,台式电脑为联想IdeaCentre K320。将大豆样本放入待测目标区域,用灯源照明,用CCD摄像机拍摄,通常要求光线集中在摄像头的视野之内,拍摄到的图像会经采集卡输入进电脑中,方便后续操作。

2 小波矩特征提取

2.1 不变矩特征提取

由于不变矩具有旋转、平移、尺度等特性不变性特点,能够表征大豆图像区域的几何特征,也就是可以根据不变矩的特征来对大豆样本图像进行分类等操作^[6]。

不变矩特征提取的原理为:如果极坐标上的图像用 $f(r, \theta)$ 表示,那么不变矩特征即为:

$$F_{pq} = \iint S_q(r) g_p(r) r dr d\theta$$

其中 $S_q(r) = \int f(r, \theta) e^{jq\theta} d\theta$, $g_p(r)$ 表示变换的径向分量, $e^{jq\theta}$ 表示变换的角度分量。如果式中的 $g_p(r)$ 取 r 的整个范围,那么 F_{pq} 就表示图像的全局特征,如果不在此范围内,就表示局部特征。图像发生旋转后 $\|F_{pq}\|$ 不变,因此,可用于表示一幅图像的特征信息。

Zernike矩特征是不变矩特征中广为应用的一个特殊矩特征,1934年Zernike^[7]提出了单位圆 $x^2 + y^2 = 1$ 上的复值函数集 $\{V_{pq}(x, y)\}$, $\{V_{pq}(x, y)\}$ 具有正交性,表示单位圆内的平方可积函数。

原理为: $V_{pq}(x, y) = V_{pq}(\rho, \theta) = R_{pq}(\rho) e^{jq\theta}$,其中 ρ 表示原点到点 (x, y) 的矢量单位; θ 表示 ρ 与 x 轴的夹角。 $R_{pq}(\rho)$ 是实值径向多项式:

$$\sum_{s=0}^{(p-|q|)/2} (-1)^s \frac{(p-s)!}{s! (\frac{p+|q|}{2}-s)! (\frac{p-|q|}{2}-s)!} \rho^{p-2s}$$

即为Zernike多项式。

Zernike多项式具有正交性,在单位圆内的图像 $f(x, y)$ 可以用下式展开^[8]:

$$f(x, y) = \sum_{p=0}^{\infty} \sum_{q=0}^{\infty} Z_{pq} V_{pq}(\rho, \theta)$$

式子中 Z_{pq} 就是Zernike矩,其定义为:

$$Z_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \iint_{x^2+y^2 \leq 1} f(x, y) V_{pq}^*(\rho, \theta) dx dy$$

其中 $f(x, y)$ 的坐标系是直角坐标系,而 $V_{pq}(\rho, \theta)$ 是极坐标系,在计算的过程中会需要坐标转换^[9]。另外,对于图像,将积分形式改为累加形式,如下:

$$Z_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \sum_x \sum_y f(x, y) V_{pq}^*(\rho, \theta) x^2 + y^2 = 1$$

对于Zernike矩的旋转不变性,以及可以构造高阶矩,就可将 $|Z_{pq}|$ 作为大豆外观品质的特征之一^[10]。试验选取了5个大豆样本图像,采用上述计算方法得到Zernike矩的前4阶的特征值,如表1所示,得到的数据均是取对数以及绝对值后的结果。5个大豆样本图像经由Zernike矩特征提取方法得到的不变矩特征值数值上有一定的规律,但是规律性不强。在对大豆样本图像进行分析时,由于不变矩具有正交性,导致特征信息减少很多冗余项。但图像细节的表达能力一般,大豆的外观品质描述不清,就会对于大豆的识别率存在一定的误差。对于这一缺点和不足,提出将小波变换(wavelet transform)与之相结合形成小波矩特征应用到大豆的外观品质检测当中。

表1 Zernike矩的特征值

Table1 The feature value of Zernike moment

样本 Sample	Z11	Z20	Z22
1	3.2506	5.1230	3.2021
2	3.8803	5.1746	3.7562
3	4.2218	5.1948	3.8275
4	3.8108	5.1409	2.6528
5	3.7137	5.1272	3.2384

2.2 小波变换

小波变换是近年来在图像处理中受到十分重视的新技术,面向特征检测、纹理分析等新方法^[11]都最终归于小波变换的范畴中,就如本研究将小波变换与不变矩相结合,应用于大豆的外观品质检测中。

小波变换的原理为:给定一个基本函数 $\psi(t)$,令

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

式中 a, b 均为常数,且 $a > 0$ 。函数 $\psi(t)$ 先移位再伸缩得到 $\psi_{a,b}(t)$ 。若有平方可积的信号 $x(t)$,且 $x(t) \in L^2(R)$,那么 $x(t)$ 的小波变换即为:

$$\begin{aligned}
 WT_x(a, b) &= \frac{1}{\sqrt{a}} \int x(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \\
 &= \int x(t) \psi_{a,b}^*(t) dt \\
 &= \langle x(t), \psi_{a,b}(t) \rangle
 \end{aligned}$$

式中 a 、 b 和 t 均是连续变量。

小波变换通过运算对信号进行细化分析,能够有效显示出平稳信号的特征,因此,从小波变换的诸多特性可以看出,其非常适用于大豆图像的外观品质特征提取的局部细节特征中。

2.3 小波矩特征提取

不变矩特征具有平移、旋转以及缩放不变性等特点,而小波变换又适用于提取大豆样本图像的局部细节特征,因此,提出将不变矩和小波变换相结合构成小波矩,小波矩特征就同时拥有两者的优点,弥补两者的不足,在大豆的外观品质特征提取当中就起到重要作用。

小波矩的原理为:将小波基函数作为 $g_p(r)$,而小波函数^[12]

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right),$$

其中: a ($a \in R_+$) 为扩张因子; b ($b \in R$) 为位移因子。首先用 $\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 代替 $F_{pq} = \iint S_q(r) g_p(r) r dr d\theta$ 中的 $g_p(r)$,从而得到不变量,其中扩张参数为 $a = a_0^m$ (m 为整数) b 为 $b = b_0 \times a_0^m$ 。3 次 B 样条函数作为其母小波 $\psi(r)$,

$$\begin{aligned}
 \psi(r) &= \frac{4a^{n+1}}{\sqrt{2\pi(n+1)}} \sigma_w \cos(2\pi f_0(2r-1)) \\
 &\quad \times \exp\left(-\frac{(2r-1)^2}{2\sigma_w^2(n+1)}\right)
 \end{aligned}$$

其中 $n = 3$ $\mu = 0.697\ 066$ $f_0 = 0.491\ 77$ $\sigma_w^2 = 0.561\ 145$ 。图像的尺寸被归一化在 $r \leq 1$ 内,因此 a_0 一般为 0.5 b_0 的选择范围是大于 0 。当 $a = 0.5^m$, $b = n \times 0.5^m$ 时,小波函数沿着轴向为 $\psi_{m,n}(r) = 2^{m/2} \psi(2^m r - n)$,赋予 m 和 n 不同的值得到图像的全局特征和局部特征^[13]。综上所述,得到小波矩

$\|F_{pq}^{wavelet}\| = \left\| \int S_q(r) \psi_{m,n}(r) r dr \right\|$ 其中 $m = 0, 1, 2, \dots; n = 0, 1, 2, \dots, 2^{m+1}; q = 0, 1, 2, \dots$ 。对某一 r 来说 $S_q(r) = \int f(r, \theta) e^{jq\theta} d\theta$ 就是图像 $f(r, \theta)$ 在空间 $[0, 2\pi]$ 中的第 q 个特征^[14]。不同的尺度因子 m , 位移因子 n , 使得 $\psi_{m,n}(r)$ 处在整个径向空间 $[0, 1]$, 小波矩 $\|F_{pq}^{wavelet}\|$ 便可以提取图像 $f(r, \theta)$ 在不同水平上的特征^[15]。

本研究选取了 5 个大豆样本图像采用小波矩计算方法得到小波矩的特征值,如表 2 所示,得到的数

据均是取对数以及绝对值后的结果。

表 2 小波矩的特征值

Table 2 The feature value of wavelet moment

样本 Sample	小波矩特征 Wavelet moment
1	13.3966
2	13.3221
3	13.5962
4	13.2914
5	13.6926

接下来,对 5 个原大豆样本图像分别进行旋转、缩放、平移以及加入噪声,得到的图像再分别进行小波矩的特征提取,如表 3 所示,得到的数据均是取对数以及绝对值后的结果。

表 3 变换后的小波矩的特征值

Table 3 The feature value of wavelet moment after transformation

样本 Sample	旋转 Rotate	缩放 Scaling	平移 Translation	加入噪声 Noise
1	13.1856	13.2746	13.2284	13.9647
2	13.8643	13.4318	13.3734	13.3485
3	13.8514	13.8543	13.5854	13.4857
4	13.1667	13.6751	13.3584	13.8644
5	13.7534	13.4238	13.3845	13.5686

从表 2 可以看出,相较于表 1 数值参差不齐来说,从 5 个大豆样本图像中提取的小波矩特征值数值相差无几,而且以一组数据就能够表达特征。表 3 是经过了平移、旋转、缩放所得到的特征数据,可以证明小波矩具有的平移、旋转、缩放不变性。与不变矩相较,提出的小波矩拥有不变矩和小波变换的双重特性,即可表达全局特性,又可表达局部特性。而且从表 3 也可看出,小波矩特征对噪声有低敏感性,不能够干扰提取的大豆外观品质小波矩特征,所以小波矩在大豆的外观品质特征提取方面显示出了较好的性能,为大豆的外观品质检测奠定了良好的基础。

3 大豆图像分类

为了证明小波矩特征更能体现大豆外观品质特征,本文将小波矩特征作为大豆图像分类器的特征,并且采用最小欧式距离判别器进行判别。

待测大豆图像区域特征向量 X 与标准大豆图像区域特征向量 Y 之间的欧式距离为:

$$d(X, Y) = \left(\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

其中 n 为待测大豆图像与标准大豆图像的特征空间的维数,当且仅当欧拉距离 $d(X, Y)$ 为零时,待测大豆图像与标准大豆图像就为同一图像。分类器的设计如图 3 所示:

大豆图像的旋转、缩放、平移和加入噪声这 4 种情况分别进行小波矩特征提取,并且将其进行分

类 类别有东农 41、东农 42 等 10 种。分类精度如表 4 所示:

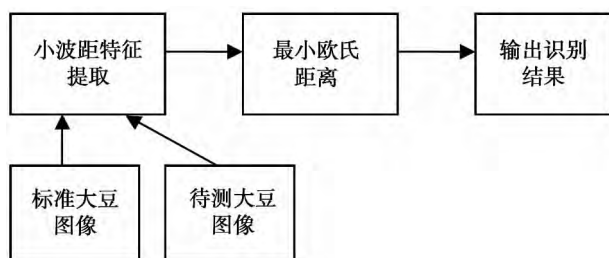


图 3 大豆图像分类器

Fig. 3 Soybean image classifier

表 4 分类精度

Table 4 Nicety of grading

类别 Type	精度 Precision / %
旋转 Rotate	99.87
缩放 Scaling	99.95
平移 Translation	99.57
加入噪声 Noise	99.99

由于操作存在误差,造成结果稍有偏差,但不影响最终结果。

4 结论与讨论

本文以数字图像处理技术为基础,机器视觉技术实施辅助,应用特征提取方法对大豆的外观品质进行研究。通过不变矩特征提取方法进行的大豆外观品质特征提取得到的数据繁杂,差别较大,不易观察,同时对图像细节描述不清,噪声干扰性强。因此,提出基于小波变换的不变矩特征提取,即小波矩特征提取方法,该方法得到的大豆外观品质特征数值规律,效果明显,指代清晰,对细节描述恰到好处。不仅具有不变矩的平移、旋转以及缩放不变性等特点,还兼具了小波变换的描述细节特性的优点,小波矩对噪声干扰能力很强,大大加强了不变矩特征对大豆外观品质特征精准的把握能力。试验数据表明:基于小波矩的大豆外观品质特征提取算法简单,而且有效可行。应用最小欧氏距离分类器进行验证,达到 99% 的正确识别率,识别效果优良。

参考文献

[1] 高志影. 国际大豆市场行情分析及中国对策研究[D]. 太原: 山西财经大学, 2008: 21-22. (Gao Z Y. An analysis on international soybean market and China's counter measures [D]. Taiyuan: Shanxi University of Finance and Economics, 2008: 21-22.)

[2] 高艳霞. 基于机器视觉的大豆外观品质检测技术研究[D]. 武汉: 武汉工业大学, 2007: 14-28. (Gao Y X. Research on the detection technology of soybean appearance quality based on machine vision [D]. Wuhan: Wuhan Industrial University, 2007: 14-28.)

[3] 时玉强. 基于机器视觉的大豆品质的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009: 10-20. (Shi Y Q. Analysis of the soybean qualities based on machine vision technology [D]. Harbin: North-east Agricultural University, 2009: 10-20.)

[4] 邹熠. 基于小波矩的图像内容识别技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2010: 19-21. (Zou Y. Research on the image content recognition technology based on wavelet moment [D]. Chengdu: Southwest Jiao Tong University, 2010: 19-21.)

[5] 张虹, 陈文楷. 一种基于小波矩的图像识别方法[J]. 北京工业大学学报, 2004, 30(4): 427-431. (Zhang H, Chen W K. A Method of image recognition based on wavelet moment [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2004, 30(4): 427-431.)

[6] 刘光蓉. 基于几何不变矩的交通标志识别[J]. 武汉工业学院学报, 2011: 58-61. (Liu G R. Traffic signs recognition based on geometry invariant moments [J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2011: 58-61.)

[7] 董硕, 柳渊, 严汉民. Zernike 矩在医学图像处理中的应用[J]. 中国医学装备, 2012, 9(9): 61-64. (Dong S, Liu Y, Yan H M. Application of Zernike moments in medical image processing [J]. Chinese Medical Equipment, 2012, 9(9): 61-64.)

[8] 韩勇, 吴健, 杨春平, 等. 两种正交多项式模拟湍流波前的比较[J]. 光电工程, 2008, 35(5): 70-73. (Han Y, Wu J, Yang C P, et al. Comparison of two orthogonal polynomials simulation methods for atmospheric wavefront [J]. Optoelectronic Engineering, 2008, 35(5): 70-73.)

[9] 高中有. 基于机器视觉的万能工具显微镜改造[D]. 成都: 四川大学, 2006: 39-87. (Gao Z Y. Reform of universal measuring microscope based on machine vision [D]. Chengdu: Sichuan University, 2006: 39-87.)

[10] 丁兴号, 邓善熙. Hu 矩和 Zernike 矩在字符识别中的应用[J]. 工具技术, 2003, 37(3): 16-18. (Ding X H, Deng S X. Application of Hu moments and zernike moments on character recognition [J]. Tool Technology, 2003, 37(3): 16-18.)

[11] 赵建新, 方堃. 一种基于小波特征的彩色图像分割算法[J]. 硅谷, 2009(21): 13-14. (Zhao J X, Fang K. A color image segmentation algorithm based on wavelet features [J]. Silicon Valley, 2009(21): 13-14.)

[12] 柴奇, 徐浩彭, 同武勤, 等. 红外与可见光图像融合算法性能评估[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(12): 57-60. (Chai Q, Xu H P, Tong W Q, et al. Performance evaluation of fusion algorithm for visual and infrared images [J]. Fire and Command Control, 2009, 34(12): 57-60.)

[13] 梅雪, 林锦国. 基于图像边缘小波矩和支持向量机的目标识别[J]. 计算机工程与科学, 2006, 28(7): 60-69. (Mei X, Lin J G. Target recognition based on wavelet moment and support vector machines [J]. Computer Engineering and Science, 2006, 28(7): 60-69.)

[14] 孙君顶, 崔江涛, 刘卫光, 等. 基于熵的图像空间特征提取及检索方法[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(6): 791-794. (Sun J D, Cui J T, Liu W G, et al. Spatial feature extraction and image retrieval based on entropy [J]. System Engineering and Electronic Technology, 2006, 28(6): 791-794.)

[15] 缪思怡, 孙炜, 张海霞. 基于小波矩的高压输电线路除冰机器人障碍智能视觉识别方法[J]. 机器人, 2010, 32(3): 425-431. (Miu S Y, Sun W, Zhang H X. Intelligent visual method based on wavelet moments for obstacle recognition of high voltage transmission line decier robot [J]. Robot, 2010, 32(3): 425-431.)