

数字图像处理技术在大米外观品质分析中的应用^①

李睿¹, 彭新德¹, 闵军², 肖放华³

¹(湖南省农科院科技情报研究所, 长沙 410125)

²(湖南省水稻研究所, 长沙 410125)

³(湖南省植物保护研究所, 长沙 410125)

摘要: 目前, 对大米外观品质的检测, 多采用人工方法进行, 检测结果的主观性较强。为此, 提出了基于数字图像处理技术的大米外观品质分析方法, 并进行了比较详细的介绍。

关键词: 大米; 外观品质; 数字图像处理; 分析

Analysis on the Exterior Quality of Rice by Digital Image Processing

LI Rui¹, PENG Xin-De¹, MIN Jun², XIAO Fang-Hua³

¹(Science and Technology Information Institute, Hunan Agriculture Academy, Changsha 410125, China)

²(Hunan Rice Institute, Changsha 410125, China)

³(Hunan Plant Protection Institute, Changsha 410125, China)

Abstract: This paper discusses the current detection measures of rice exterior quality, and points out its shortcut, and puts forward a new detection measure of rice exterior quality based on digital image processing. At last, it briefs the technical details.

Keywords: rice; exterior quality; digital image processing; analysis

大米外观品质是大米品质的重要组成部分, 它决定了人们对大米的视觉感受, 直接决定了大米的市场竞争力。目前, 多采用人工手段对大米的外观品质进行检测, 其结果主观性较强。随着计算机技术的发展, 数字图像处理技术在农业上的应用愈来愈广泛^[1-6], 为此, 拟开发一套依靠数字图像处理技术对稻米外观品质进行检测的计算机软件系统, 以实现大米碎米粒率、黄米粒率、长宽比(粒型)、透明度、垩白粒率、垩白度等的无损、准确检测。

经过检索, 目前利用计算机技术对大米外观进行检测的论文不多, 大多侧重于碎米、垩白与黄米的检测。此外, 已有的研究多为单立的算法分析, 未形成一个完整的系统。为此, 项目着眼于对大米可视品质的完整分析, 并建立包括图像获取、图像分析、数据持久化、数据查询等方面的完整的计算机系统。

1 引言

1.1 文章安排

文章对数字图像处理技术在大米外观检测上的应用进行了讨论, 由4个部分构成。其中第2部分讲述的是传统大米外观检测手段及其不足, 第3部分简要概括了数字图像处理技术对传统检测手段的优势, 第4部分就大米外观品质检测所需的数字图像处理技术进行了详细的介绍, 第5部分进行了小结, 并对未来工作的开展进行了讨论。

1.1.1 基本介绍

大米外观品质的传统检测多采用人工的方法进行, 存在诸多不足, 如结果的重复性较差、客观性不强、实时性不佳等。采用数字图像处理技术对大米外观品质进行检测可以很好的克服人工方法的不足, 并将检测数据持久化, 供查询、检索。

① 基金项目:湖南省农业科学院 2010 科技创新基金

收稿时间:2010-08-18;收到修改稿时间:2010-09-25

2 稻米外观品质的传统检测

传统大米外观品质涵盖以下几个方面：粒型、大小、透明度、垩白等，主要检测手段多为手工量取或肉眼观测，检测结果缺乏重复性和客观性。各部分检测方法概述如下。

2.1 大米粒型的检测

大米粒型检测的一般方法为：从试样中随机数取完整精米 2 份，每份 10 粒，在谷物轮廓影仪下分别量出每粒的长度和宽度(精确到 0.1 mm)，求出平均长度和宽度，并计算出长宽比。也可将 10 粒完整精米按长度排成一条直线，用直尺量出总长度；再将该 10 粒精米按宽度排列，量出其总宽度。求单粒试样的平均长度和宽度，并求出长宽比。

2.2 米粒大小的检测

米粒大小一般以 100 粒完整糙米的重量表示。检测方法通常是从糙米样品中数取试样 2 份，每份 10 粒，在天平上称出重量，精确到 0.1g。计算平均重量。

2.3 垩白度的检测

垩白度的检测包括垩白粒率、垩白大小，检测方法分别为：1)垩白粒率的检测。从供试样品糙米中，随机数取完整米粒 2 份，每份 100 粒，逐粒进行垩白鉴定，将有、无垩白粒分开，计算垩白粒率(%)。2)垩白大小的检测。从分选出来的垩白米粒中，随机数取 10 粒，用目测逐粒估计米粒中垩白的面积占米粒投影面积的百分率，计算平均垩白大小(%)。计算公式见式(1)、式(2)、式(3)。

$$\text{垩白米粒率}(\%) = \frac{\text{垩白米粒数}}{\text{供试米粒数}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{垩白大小}(\%) = \frac{\text{垩白面积}}{\text{供试米粒面积}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{垩白度}(\%) = \text{垩白率} \times \text{垩白大小} \quad (3)$$

3 采用数字图像处理技术的优势

需要说明的是，图像处理中的外观品质严格来说应当称为可视品质，因此与传统意义上的外观品质稍有出入。如原属于研磨品质的碎米率、整米率可以通过数字图像处理技术加以鉴定。原属于外观品质的米粒大小(百粒重)则无法通过计算机图像处理技术完成。

相比于手工鉴定，采用数字图像处理技术对稻米

外观品质进行检测分析，具有客观性强、工作稳定、结果可靠、检测迅速等优势。

4 分析稻米外观品质的数字图像处理技术

4.1 图像预处理

图像获取以后，由于环境和获取设备自身的原因，易产生噪声干扰，为了后续分析的顺利进行，在获取图像以后需对所获得的图像进行预处理，即去除图像噪声进行图像平滑，主要在空域中进行。空域图像平滑的数学原理为平均，依平均的方法不同，主要分为两类。一类为概率平均，即期望，运算形式为模板与图像的卷积，如邻域平均、高斯平均等；另一类为灰度值序列的平均，运算形式为排序、取中值，如中值平均等。以 3×3 模板为例，对各方法进行介绍，介绍前对图像表示进行约定，设图像为 $I \times J$ 阶矩阵， (i, j) 为图像中一个象素点，其值为灰度值，记为 $f(i, j)$ 。

4.1.1 邻域平均

邻域平均的模板算子与图像的运算形式分别见式(4)、式(5)。

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$f(i, j) = \sum_{n=i-1, m=j-1}^{i+1, j+1} f(n, m) \quad (5)$$

4.1.2 高斯平均

高斯平均模板见式(6)。

$$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

设模板矩阵为 B ，则高斯平滑的操作见式(7)。

$$f(i, j) = \frac{1}{16} \sum_{n=i-1, m=j-1}^{i+1, j+1} B(n-i+1, m-j+1) f(n, m) \quad (7)$$

4.1.3 中值平均

中值平均就是对窗口内象素的灰度值进行排序，然后取中值，替换当前位置象素的灰度值，可表为式(8)。

$$f(i, j) = \text{med}(\text{ord} \begin{bmatrix} i-1, j-1 & i-1, j & i-1, j+1 \\ i, j-1 & i, j & i, j+1 \\ i+1, j-1 & i+1, j & i+1, j+1 \end{bmatrix}) \quad (8)$$

式中 med 表示取中值运算, ord 表示排序运算。

于上述 3 种滤波方法中选择平滑效果好且模糊较小的方法对图像进行预处理, 消除图像噪声。其中邻域平均、高斯平均可以通过循环累加求平均实现, 中值平均可采用快速中值滤波算法实现。另外, 若图像中高斯噪声较强, 空域方法难以取得较好的效果, 可以考虑通过快速傅立叶变换, 将图像转移到频域, 进行频域滤波后再进行反变换, 从而获得较佳的处理效果。

4.2 图像分析

预处理后, 可获得比较平滑的图像, 然后展开分析。分析主要在两种类型的图像中展开。将平滑后的图像转换成二值图像进行碎米率、整米率、粒型计算; 将平滑后的图像转换成灰度图像进行漂白计算、透明度估计、黄米粒计算等。

4.2.1 图像分割

图像预处理后, 即进入图像的分析 and 处理阶段。要分析图像, 计数图像中的米粒数、分析粒型等, 就需要对图像进行分割, 将图像中的前景和背景分离, 获取二值图像, 便于后续连通域的分析、轮廓提取等工作。

图像分割的经典方法由大津展之于 1980 年提出, 它具有自适应的特点, 是目前图像分割的最优算法。其数学原理是寻找最大类间方差, 确定阈值, 介绍如下。

设 N 为图像中的象素总数, 象素值随机分布于 0~256 个灰度等级, 第 i 级灰度上的象素数为 ni, 象素在第 i 级灰度上的概率为 pi, 则可得出式(9)、式(10)、式(11)、式(12)、式(13)、式(14)、式(15)、式(16)。

$$N = \sum_{i=1}^{256} n_i \quad (9) \quad p_i = \frac{n_i}{N} \quad (10)$$

$$w0 = \sum_{i=1}^{T-1} p_i \quad (11) \quad w1 = \sum_{i=T}^{256} p_i \quad (12)$$

$$\text{avg}0 = \sum_{i=1}^{T-1} \frac{ip_i}{w0} \quad (13) \quad \text{avg}1 = \sum_{i=T}^{256} \frac{ip_i}{w1} \quad (14)$$

$$e = \sum_{i=1}^{256} ip_i \quad (15)$$

$$\delta = w0(\text{avg}0 - e)^2 + w1(\text{avg}1 - e)^2 \quad (16)$$

其中, 式(11)、式(12)为象素分布在两个灰度集中的概率, 分别表示为 w0、w1; 式(13)、式(14)为两灰度集中各象素灰度值的均值, 分别表示为 avg0、avg1; 式(15)为图像象素灰度值的概率均值, 即期望, 表示为 e; 式(16)为象素在两个灰度集上的方差, 表示为 δ。

大津分割可以通过循环计算各灰度级上的象素数, 得到象素的灰度分布律, 然后逐一变化阈值, 找到类间方差最大者。也可不采用大津法, 直接绘制灰度直方图, 采用人机交互界面, 手工确定阈值, 但效果比不上大津法。

图像经大津分割后, 转为二值图像, 为了后续加工的便利, 需再次进行预处理, 内容主要是消除因干扰导致的米粒中的细小空洞、分离粘连的米粒。这部分工作可以借助数学形态学的知识完成^[2]。二值图像连通域(米粒)中孔洞的消除可以采用二值闭运算, 细微粘连的分割可以通过二值开运算进行。二值开、闭运算可以通过构造小矩阵(探针), 采用循环使之在大矩阵内移动, 进行运算, 从而实现所需的处理效果。

4.2.2 通过二值图像进行碎米率判定

图像经上述步骤处理后, 即可进行下一步的分析与处理。此时的二值图像中, 每一米粒都是单连通的, 这样通过区域标识, 可计数出米粒数, 同时计算各单连通域内的象素数, 进行面积比较, 即可确定碎米对应的连通域和碎米率。

这里单连通域的标识采用区域生长算法, 为了编程的方便, 可对二值图像进行反转, 将各连通域内象素的灰度值置 0(黑), 背景置 255(白), 算法框图见图 1。

由图 1 可知, 经过生长处理, 总米粒数=i-1, 各米粒面积为 n。然后通过循环即可计算总米粒面积, 平均每粒米的面积。设定米粒面积小于平均米粒面积 60% 的为碎米, 通过循环即可确定碎米数, 碎米区域, 最后设置中间灰度值以标识碎米粒。

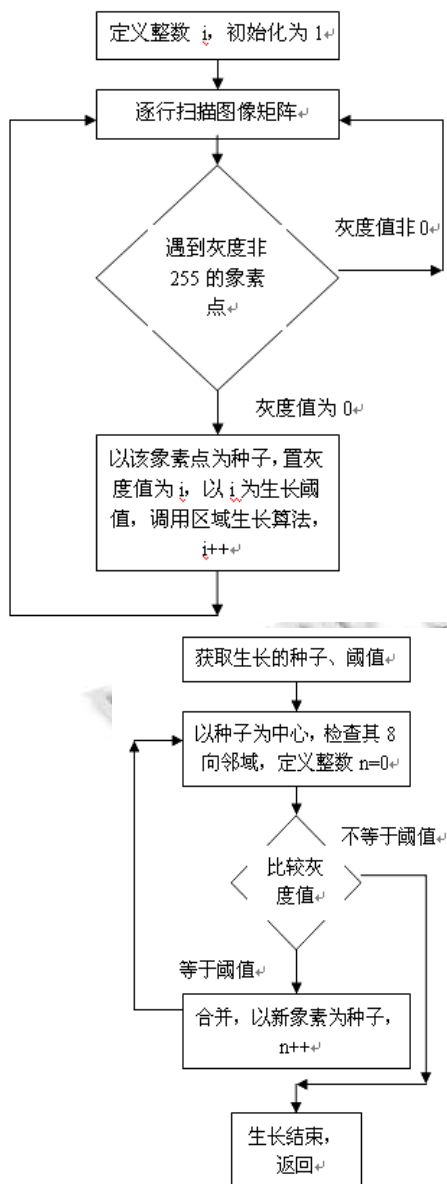


图 1 区域生长算法框图

4.2.3 通过二值图像判定粒型

通过 4.2.2 的处理, 已标识出各连通区域, 并标识出碎米粒, 接下来可以对整米的粒型进行判定。判定方法如下, 首先分别计算得出各连通域的形心, 然后进行边界跟踪, 得到各米粒的轮廓, 接下来可进行坐标变换, 使得边界坐标以形心为原点, 将轮廓曲线视为 x 坐标的函数, 考虑到米粒外形类似椭圆, 短轴处曲率最小, 长轴处曲率最大, 且长、短轴关于原点对称, 因此计算曲率可得长、短轴端点的坐标, 求出长、短轴长度, 计算比值, 即可得到长宽比^[3,4]。

连通域形心计算, 见式(17)、式(18)。

$$\bar{x} = \sum \frac{x}{n} \quad (17) \quad \bar{y} = \sum \frac{y}{n} \quad (18)$$

式中, \bar{x} 、 \bar{y} 为计算所得的连通域形心坐标, x 、 y 为连通域内各像素的 x 、 y 坐标, n 为连通域面积。

获取边界的手段主要有两种, 一是依靠数学原理, 边界对应图像变换剧烈的地方, 因此可采用差分来描述, 差分的极值对应边界, 这类方法的实现模板很多, 如 Sobel 算子、Prewitt 算子、Gauss 算子等; 二是依靠像素比较, 实现边界的获取。其实现方法一为边界跟踪, 原理为找到首个边界点后, 因边界是连续的, 因此可从 8 个邻域方向中任选一个方向, 通常选择法线方向一侧的邻域进行初始查找, 找不到则旋转 45°, 继续寻找, 找到了则以新点为起始点, 将查找方向逆时针旋转 90° 后进行查找, 如此往复直到返回起始边界点。原理二还可以通过掏空内部点实现, 即轮廓提取。本项目拟采用边界跟踪获取边界轮廓。

轮廓曲线曲率的计算, 在轮廓曲线提取以后, 可能并不光滑, 此时可先采用数学形态学方法预处理一下, 然后以矩阵的形式表达轮廓曲线, 以差分代替求导, 则轮廓上各点曲率的数学公式见式(19)。

$$k = \frac{|y''|}{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (19)$$

式中, k 即为轮廓曲线上各点的曲率。

4.2.4 通过灰度图像进行茭白判定

将彩色图转换为灰度图后, 统计各灰度级的像素数, 绘制灰度直方图, 选择适当的阈值将茭白从米粒中抓取出来, 获得关于茭白的二值图像, 采用 4.2.1、4.2.2 的方法即可得到茭白的面积与茭白数, 与前面所获得的米粒面积、米粒数进行计算, 容易得到茭白面积与茭白粒率, 进而得到茭白度。

前人研究表明, 选择适当的阈值分离茭白的二值图像是茭白分析的关键^[5,6]。由于各地大米品种不一, 灰度等级各异, 因此需经大量的试验方可获取有效分离湖南大米中茭白的阈值。

在 RGB 颜色模型下, 彩色图像到灰度图像的变换格式见式 20。

$$\text{Gray}=0.3\text{B}+0.59\text{G}+0.11\text{R} \quad (20)$$

式中, Gray 即为灰度值, R、G、B 分别为 RGB 模型下红、绿、蓝分量的值(下同)。

4.2.5 通过灰度图像进行透明度判定

大米透明度的确定目前尚无标准, 因此作如下设想。其一, 人工观测大米, 判定透明等级, 然后经计算机处理获得其平均灰度值, 进而规定计算机处理下大米透明等级; 其二, 依据大米灰度图像的灰度范围来定义大米计算机处理下透明等级的划分。无论哪种方法均需依靠大量的试验方可完成。

4.2.6 HIS、RGB 与黄米粒判定

依据适应范围的不同, 人们建立了多种颜色模型, 如 CMYK, 主要应用于印刷行业; HIS, 主要依据人眼的感受对颜色进行定义; RGB, 3 基色模型, 是计算机内的颜色模型。前人进行黄米粒判定时主要考虑人眼视觉感受, 加之出于理论研究的需要, 因此多采用 HIS 模型。考虑的黄米粒与普通大米在灰度图上即可呈现明显区别, 本项目拟采用直接对灰度图处理, 方法见 4.2.1、4.2.2。同时, 将灰度图处理结果与 HIS 处理结果对比, 以确定检验结果的正确性。

HIS 模型中各分量分别为, H 色调, I 强度, S 饱和度, 它与 RGB 模型的转换见公式(21)、(22)、(23)。

$$I=(R+G+B)/3 \quad (21)$$

$$\text{if } B \leq G \text{ H} = \{[(R-G)+(R-B)]/2[(R-G)^2+(R-G)(R-B)]^{1/2}\}$$

$$\text{else } \text{H} = 360 - \{[(R-G)+(R-B)]/2[(R-G)^2+(R-G)(R-B)]^{1/2}\} \quad (22)$$

$$S=1-[\min(R,G,B)/I] \quad (23)$$

从数学公式上看, HIS、RGB、灰度图像直接是存在联系的, 且前人研究表明黄米粒的判定主要还是依靠 H 的直方图。因此, 采用灰度图直接处理黄米粒应当不存在障碍。

4.2.7 数据的持久化与检索

数据持久化指的是将数据存储等操作, 这里采用数据库对鉴定所得结果进行管理与维护。大米流通的角度来说, 米业企业存在标识外观标准的需要, 而同一品种的不同批次间差异较小, 无需重复检验, 因此

存在对检验结果重复利用的需要; 此外, 米业企业可能还需要进行外观品质的对比, 因此存在检索数据的需要。基于此, 考虑将检测的结果持久化到数据库, 以满足检索、查询的需要。

数据的持久化的实现方法如下, 依软件设计模式, 参考 JAVA 中的做法, 单独设计一个类, 其中仅含有属性与 set、get 方法, 数据类的实例通过 DAO 写入数据库, 供数据库客户端使用。数据类的基本属性应当包含品种名、整米率、碎米率、黄米率、垩白度、长宽比, 透明度, 综合外观分值等。

5 小结与讨论

上述分析方法是基于静态图像的, 为保证图像的无差别性, 需固定图像的获取环境, 可以通过构造摄影舱达到此目的。另外, 如果移植到现场, 比如直接从大米加工设备上获取米样, 实现边加工边鉴定, 就需要对图像处理提出更高的要求。因为大米在加工设备中处于运动状态, 无论相机快门如何先进, 获取图像总不是静态的, 这就导致图像必定存在运动模糊, 考虑快门时间相当短促, 因此可假定米粒是在进行匀速直线运动, 采用有效的方法消除直线运动带来的模糊, 是今后需关注的重点之一。

参考文献

- 1 赵衍运, 蔡安妮, 孙景鳌. 基于对象的数字图像处理软件设计方法. 计算机工程与应用, 2002, (3): 18-19.
- 2 凌云, 王一鸣, 孙明, 等. 基于流域算法的谷物籽粒图像分割技术. 农业机械学报, 2005, 36(3): 95-98.
- 3 李文炳, 冯平, 蔡增伸, 等. 基于数字图像处理的位移测量. 浙江工业大学学报, 2004, (6): 32-35.
- 4 张少军, 艾矫健, 李忠富, 等. 利用数字图像处理技术测量几何尺寸. 北京科技大学学报, 2002, (3): 23-26.
- 5 黄星奕, 吴守一, 方如明, 等. 遗传神经网络在稻米垩白度检测中的应用研究. 农业工程学报, 2003, 19(3): 137-139.
- 6 孙明, 凌云, 王一鸣. 在 MATLAB 环境中基于计算机视觉技术的大米垩白检测. 农业工程学报, 2002, 18(4): 146-149.