



中国食品学报

*Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*

ISSN 1009-7848, CN 11-4528/TS

## 《中国食品学报》网络首发论文

题目：基于机器视觉的鸡蛋内外品质一体化检测与分级系统  
作者：梁丹, 李平, 梁冬泰, 陈兴, 吴晓成  
网络首发日期：2020-10-16  
引用格式：梁丹, 李平, 梁冬泰, 陈兴, 吴晓成. 基于机器视觉的鸡蛋内外品质一体化检测与分级系统. 中国食品学报.  
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4528.TS.20201016.1609.002.html>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

# 基于机器视觉的鸡蛋内外品质一体化检测与分级系统

梁丹<sup>1</sup> 李平<sup>1</sup> 梁冬泰<sup>1</sup> 陈兴<sup>1</sup> 吴晓成<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>宁波大学机械与力学学院 浙江宁波 315211)

**摘要** 针对鸡蛋检测分级系统复杂、集成化程度低、多品质因素综合检测的问题,设计出一体化的鸡蛋品质无损检测与分级系统,利用机器视觉算法实现了鸡蛋裂纹、尺寸、新鲜度与品质等级的自动化在线检测与分级。系统主要包括图像采集单元、分级单元、传输单元、图像处理单元和单片机控制单元。基于梯度幅度直方图和类间方差最大法进行自动阈值选取,对一级分级时的裂纹蛋进行剔除;采用外接最小矩形法测量鸡蛋最大横径、最大纵径、蛋行指数;利用鸡蛋透射图颜色信息的变化与哈夫单位值间的关系建立新鲜度 BP 神经网络,对鸡蛋新鲜度进行分级。试验结果表明,裂纹识别正确率为 98.18%,对不同新鲜度等级的鸡蛋品质识别正确率为 97.48%。

**关键词** 机器视觉;鸡蛋品质;一体化检测;分级系统

## Integrated Inspecting and Grading System of the Egg Quality Based on Machine Vision

Liang Dan<sup>1</sup>, Li Ping<sup>1</sup>, Liang Dongtai<sup>1</sup>, Chen Xing<sup>1</sup>, Wu Xiaocheng<sup>1</sup>

(1.Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics of Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang)

**Abstract** In view of the problems of complexity, low integration and multi-quality factors of egg sorting, an integrated inspecting and grading system of egg qualities was designed, which realized the automated inspecting and classification of the crack, size, freshness and quality level of eggs by using the machine vision algorithm. The designed system adopts pipelined structure which mainly consisted of an image acquisition unit, classification unit, transmission unit, image processing unit and micro-control unit. The image acquisition unit, classification unit, transmission unit were controlled orderly by the image processing unit and microprocessor unit, which were connected by the gigabit net port or the I/O joggle. Aiming at realizing the tiny egg cracks detection, the automatic threshold selection was presented based on the gradient magnitude histogram and maximum variance between clusters. Then, the cracked eggs were detected and identified, and eliminated in the classification unit I. In order to estimate the egg size, the maximum transverse diameter, maximum longitudinal diameter and the egg row index are measured by the minimum enclosed rectangle method. The eggs were sorted into two class of large and small in classification unit II. Through transforming the egg perspective images from RGB to HSI, the relationship between Haff value and the color components is analyzed. A back-propagation neural network is established to classify the freshness. Experimental results show that the accuracy of crack identification is 98.18%, the precision rate of special grade (AA) is 96.67%, the precision rate of grade A (A) is 98.31%, the precision rate of special grade B (B) is 96.67%, and the precision rate of egg quality recognition for different freshness grades is 97.48% generally. The designed system can be applied to online inspection of large-scale poultry and egg farms with high accuracy, simple structure and fast execution speed, as well as automatic inspecting and grading of other agricultural products.

**Key words** machine vision; egg quality; integrated inspecting; grading system

近年来,我国禽蛋年总产量已达 2.8 千万 t,蛋品加工年产值高达到 400 亿元,成为我国畜产食品产业中的第二大产业,在国民经济中占有重要地位<sup>[1]</sup>。在鸡蛋加工、包装中,鸡蛋品质的检测和分级处理尤为重要。鸡蛋品质检测分内部检测和外部检测,主要包括最大横径、最大纵径、蛋形指数和新鲜度等<sup>[2]</sup>。

国外在鸡蛋无损检测方面的研究起步较早。Elster R T 等<sup>[3]</sup>最早对鸡蛋的品质特征进行研究,将直

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(51805280);浙江省自然科学基金项目(LQ18E050005);宁波市自然科学基金项目(2019A610158)

作者简介:梁丹(1989-),男,博士。Email:liangdan@nbu.edu.cn

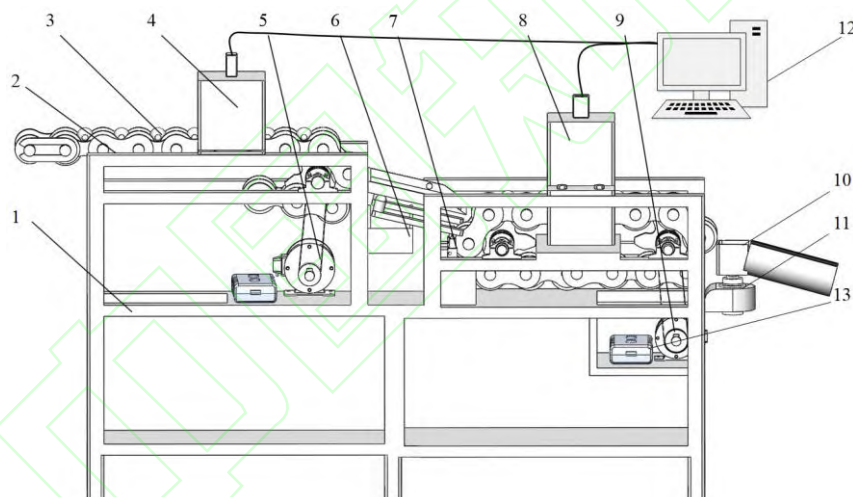
网络首发时间:2020-10-16 16:36:43 网络首发地址:<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4528.TS.20201016.1609.002.html>

方图均衡化和 sobel 算子相结合, 提取出鸡蛋表面裂纹, 实现鸡蛋品质的简单分级, 验证了机器视觉进行鸡蛋品质检测的可行性。Yoon S C 等<sup>[4]</sup>建立了一种压力成像系统, 可以在不影响鸡蛋质量的前提下检测出含有微裂纹和普通裂纹的鸡蛋。Priyadumkol J 等<sup>[5]</sup>设计了一种基于改进压力室和机器视觉的鸡蛋裂纹检测系统, 提出一种鲁棒裂纹检测算法, 采用 750 个鸡蛋表面图像进行验证, 正确率 94%, 假阴性率 1.67%。国内的段宇飞等<sup>[6]</sup>采集鸡蛋透射率光谱曲线, 利用支持向量回归与鸡蛋哈夫单位值进行定量分析、非线性建模, 以提高鸡蛋新鲜度的检测效果。魏萱等<sup>[7]</sup>利用灰度共生矩阵提取鸡蛋图像纹理特征, 进行土鸡蛋裂纹判别, 准确度达到 96.0%。房盟盟等<sup>[8]</sup>利用高光谱成像技术, 结合化学统计学方法, 实现鸡蛋哈氏单位的无损有效检测。

虽然国内外学者在禽蛋质量、色泽、裂纹等方面进行大量研究<sup>[9-10]</sup>, 但是大多针对单品质因素, 在内、外多品质因素综合检测方面, 还难以达到整体化、集成化、高效率。鉴于此, 本文设计出一体化的鸡蛋品质无损检测及分级系统, 提出一种基于机器视觉的鸡蛋内外品质实时在线检测方法。综合多品质因素检测结果, 按照鸡蛋大小/新鲜度等级标准, 实现鸡蛋裂纹、尺寸、新鲜度与品质等级的自动化检测与分级。本文所设计的系统检测精确度较高、结构简单、执行速度快, 可应用于禽蛋养殖场的规模化在线检测, 以及其它农产品的自动化检测与分级。

## 1 鸡蛋品质检测与分级系统方案

本文设计的鸡蛋检测与分级系统的整体结构如图 1 所示, 包括用于图像采集、样品传输、样品分级、计算机处理的硬件部分, 图像采集、图像处理、信号传递通讯、数据处理等软件部分。

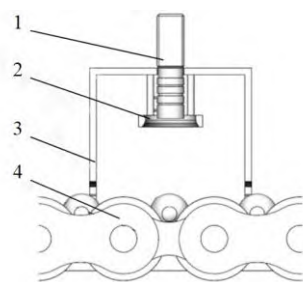


1. 机架 2. 传送链 3. 鸡蛋 4. 图像采集单元 I 5. 步进电机 6. 一级分级盘 7. 继电器 8. 图像采集单元 II 9. 步进电机 10. 二级分级盘 11. 舵机 12. 图像处理单元 13. 单片机控制单元

图 1 鸡蛋品质检测与分级设备整体结构简图

Fig.1 The structure of the egg quality inspecting and grading system

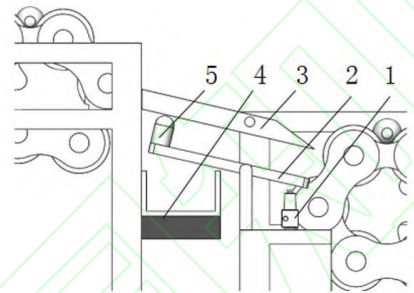
图像采集单元 I 如图 2 所示, 主要由彩色 CCD 相机、环形 LED 光源和遮光箱等组成, 用于鸡蛋裂纹、最大横径、最大纵径和蛋形指数等外部品质的检测。使用 BASLER acA130-30gc 数字摄像机, Computar H0514-MP 定焦镜头。光源采用 MV-LRDS-120-30-R LED 环形红色光源, 通过正向照明方式采集鸡蛋正面图像。图像采集单元 II 用于鸡蛋内部品质检测, 选择透射性能较好的 Philips WHITE P45 的磨砂玻壳 LED, 采用背向照明的方式, 通过 CCD 相机获取鸡蛋的彩色透视图。



1. 彩色 CCD 相机 2. 环形光源 3. 密封箱 4. 传送链

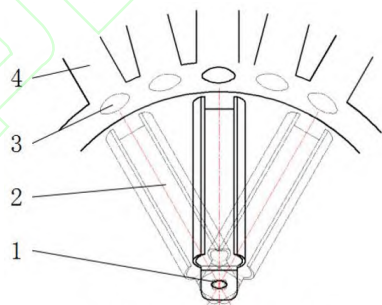
图 2 鸡蛋外部品质图像采集单元示意图  
Fig.2 Image acquisition unit diagram of egg external quality

一级分级单元主要由电磁继电器、衔铁、托盘和一级分级盘等组成，可剔除鸡蛋外部检测有裂纹的鸡蛋，无裂纹的鸡蛋则顺着托盘进入后续图像处理装置，结构如图 3 所示。二级分级单元先根据尺寸将鸡蛋分成大、小两类，再根据新鲜度分为特级（AA）、甲级（A）、乙（B）级 3 类。该分级装置如图 4 所示，由舵机控制二级分级盘转动，每个转动角度分别指向不同的分级导向通道，将鸡蛋运输到各个分级槽。



1.电磁继电器 2.衔铁 3.托盘  
4.一级分级盘 5.触头

图 3 一级分级单元结构简图  
Fig. 3 Unit diagram of the classification unit I



1.舵机 2.二级分级盘 3.鸡蛋  
4.分级导向通道

图 4 二级分级单元结构简图  
Fig. 4 Unit diagram of the classification unit II

系统的工作原理如图 5 所示。传输单元将待测鸡蛋传送至图像采集单元 I，进行外部图像数据采集，并传输至图像处理单元中进行处理，获得裂纹、最大横径、最大纵径和蛋形指数。当鸡蛋传输至一级分级单元时，计算机根据图像处理结果进行裂纹判断，若为裂纹鸡蛋则剔除；若无裂纹，则将鸡蛋继续传输至图像采集单元 II，完成对鸡蛋内部品质参数的采集、处理、存储、传输等操作，获得新鲜度信息，最后在二级分级单元处，综合内、外多品质因素进行二次分级。

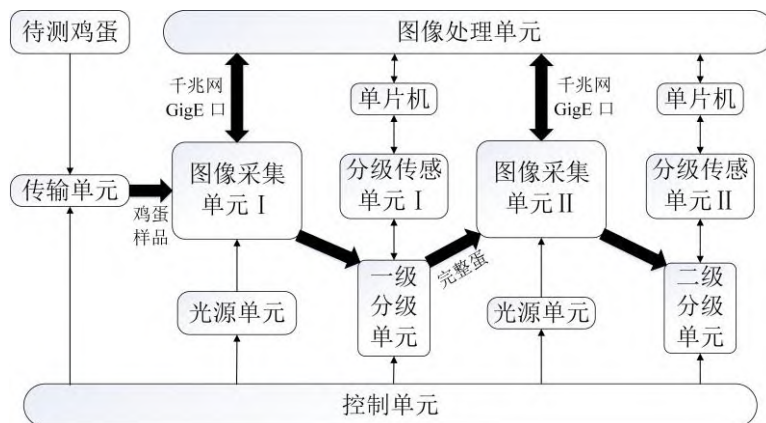


图5 鸡蛋内、外品质实时在线检测系统原理框图

Fig.5 Schematic diagram of the real-time on-line inspecting system of egg internal and external qualities

## 2 鸡蛋品质检测方法

鸡蛋品质无损检测及分级系统采用链传动流水线结构，主要包括外部品质检测、内部品质新鲜度检测和品质自动分级。基于梯度幅度直方图和类间方差最大法进行自动阈值选取，剔除裂纹蛋。采用外接最小矩形法检测鸡蛋轮廓的最大横径与最大纵径，计算蛋形指数，以此将鸡蛋尺寸分为大、小两个等级。基于新鲜度 BP 神经网络对新鲜度进行无损检测，训练出鸡蛋新鲜度综合检测模型。根据新鲜度等级分为 AA（特级）、A（甲级）、B（乙级）3 个等级。鸡蛋品质检测方法如图 6 所示。

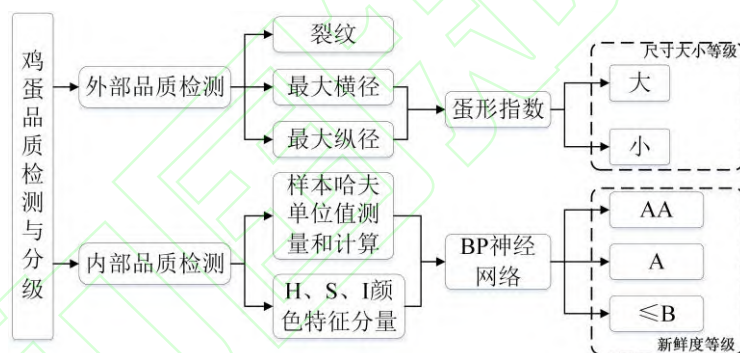


图6 鸡蛋品质检测与分级示意图

Fig.6 Diagram of inspecting and grading system of egg qualities

### 2.1 鸡蛋图像精准定位

首先将鸡蛋彩色 RGB 图像转换为灰度图，进行直方图灰度变换、中值滤波平滑、图像增强、二值化操作等图像预处理，然后搜索像素值为“1”的上、下、左、右 4 个边界像素点，找到鸡蛋 ROI 区域对图像进行精准定位。分别向图像 4 个方向扩大 40 个像素点进行剪切，以防止边缘信息丧失。试验结果如图 7 所示。



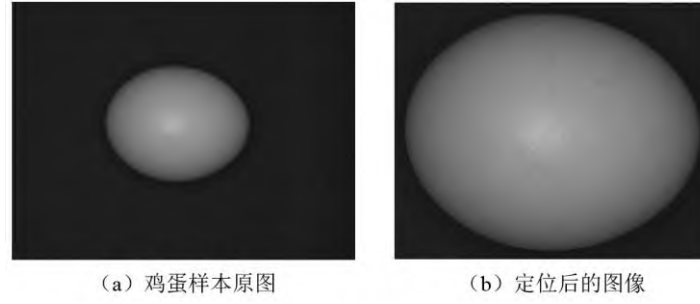


图7 鸡蛋图像精准定位  
Fig.7 Egg image location

## 2.2 裂纹图像处理

试验获得的图像为 BMP (800×600) 彩色图, 对每枚鸡蛋图像进行灰度转化、平滑处理、锐化处理、图像增强等预处理后, 基于梯度幅度直方图和类间方差最大法进行自动阈值选取, 进行阈值分割并提取出裂纹区域, 实现对裂纹鸡蛋的判别。

类间方差最大法 (Otsu) 的基本思想是将图像按照灰度特性分成背景和目标两类, 搜索类间方差最大时所对应的阈值为最优阈值, 保证阈值分割错分概率最小。设图像中的总像素为  $N$ , 灰度值区间为  $[0, L-1]$ 。其中, 背景类像素灰度值区间为  $[0, T]$ , 目标类为  $[T+1, L-1]$ , 灰度值  $i$  对应的像素数为  $N_i$ , 其概率为  $P_i = N_i/N$  ( $i=0,1,2,\dots,L-1$ ), 则类间方差公式为

$$\sigma^2(T) = \omega_0(T)[\mu_0(T) - \mu]^2 + \omega_1(T)[\mu_1(T) - \mu]^2 \quad (1)$$

$$\text{式中, } \mu_0(T) = \frac{\sum_{i=0}^T i \times P_i}{\omega_0(T)}, \quad \mu_1(T) = \frac{\sum_{i=T+1}^{L-1} i \times P_i}{\omega_1(T)}, \quad \omega_0(T) = \sum_{i=0}^T P_i, \quad \omega_1(T) = \sum_{i=T+1}^{L-1} P_i,$$

$$\omega_0(T) + \omega_1(T) = 1.$$

令  $T$  在区间  $[0, L-1]$  内循环取值, 搜索使  $\sigma^2(T)$  最大的  $T$  值, 即最佳阈值。将 Canny 算子非极大值抑制后的图像像素分为 3 个类别  $C_1, C_2, C_3$ , 分别包含梯度幅值为  $\{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ 、 $\{t_{k+1}, t_{k+2}, \dots, t_m\}$ 、 $\{t_{m+1}, t_{m+2}, \dots, t_l\}$  的像素, 分别表示原图像中的非边缘点、待判断边缘点、边缘点。设灰度梯度为  $t_j$  对应的像素数为  $n_j$ , 其概率为  $p_j = n_j/N$ , ( $j=1,2,\dots,l$ )。整个图像的梯度幅值期望为

$$E = \sum_{j=1}^l t_j \times p_j \quad (2)$$

发生在  $C_1, C_2, C_3$  类内的梯度幅值期望分别为

$$E_1(1, k) = \frac{\sum_{j=1}^k t_j \times p_j}{\sum_{j=1}^k p_j}; \quad E_2(k+1, m) = \frac{\sum_{j=k+1}^m t_j \times p_j}{\sum_{j=k+1}^m p_j}; \quad E_3(m+1, l) = \frac{\sum_{j=m+1}^l t_j \times p_j}{\sum_{j=m+1}^l p_j} \quad (3)$$

设  $p(1, k) = \sum_{j=1}^k p_j$ ,  $p(k+1, m) = \sum_{j=k+1}^m p_j$ ,  $p(m+1, l) = \sum_{j=m+1}^l p_j$ , 则评价函数为

$$\begin{aligned} \sigma^2(k, m) &= [E_1(1, k) - E]^2 + [E_2(k+1, m) - E]^2 + [E_3(m+1, l) - E]^2 \\ &= \left( \frac{\sum_{j=1}^k t_j \times p_j}{\sum_{j=1}^k p_j} - \frac{\sum_{j=1}^l t_j \times p_j}{\sum_{j=1}^l p_j} \right)^2 \times \sum_{j=1}^k p_j + \left( \frac{\sum_{j=k+1}^m t_j \times p_j}{\sum_{j=k+1}^m p_j} - \frac{\sum_{j=1}^l t_j \times p_j}{\sum_{j=1}^l p_j} \right)^2 \times \sum_{j=k+1}^m p_j \\ &\quad + \left( \frac{\sum_{j=m+1}^l t_j \times p_j}{\sum_{j=m+1}^l p_j} - \frac{\sum_{j=1}^l t_j \times p_j}{\sum_{j=1}^l p_j} \right)^2 \times \sum_{j=m+1}^l p_j \quad (4) \end{aligned}$$

上式中,  $t_j, p_j, l$  为已知, 通过搜索  $\sigma^2(k, m)$  最大值所对应的  $t_m, p_m$ , 可得到区间  $C_1, C_2, C_3$  的分界点, 即 Canny 算子的高低阈值。自适应阈值 Canny 算法的流程如图 8 所示。

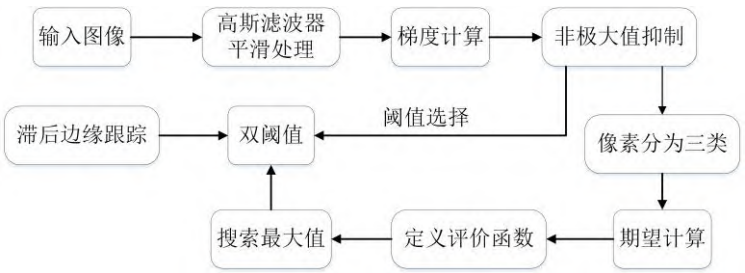


图 8 自适应阈值算法流程图  
Fig.8 Flow chart of the adaptive threshold algorithm

图像处理流程如图 9 所示，即  $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow g$ 。有裂纹的鸡蛋直接被一级分级单元剔除。

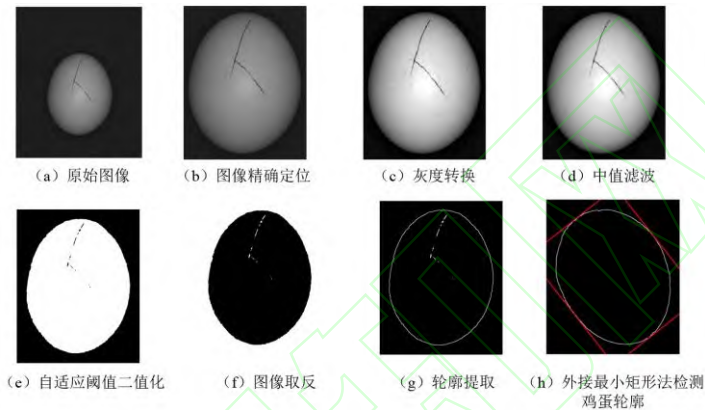


图 9 鸡蛋图像处理过程示意图  
Fig. 9 The image process of egg

2.3 鸡蛋尺寸测量

采用外接最小矩形法：以鸡蛋形心为原点建立直角坐标系，通过旋转图像不断搜索并比较上、下、左、右 4 个边界像素点构成的矩形高度，当矩形高度达到最大时即所求最小外切矩形。计算最大横、纵径像素长度，算法流程如图 10 所示。图 9h 为使用外接最小矩形法测量得到的鸡蛋尺寸轮廓图像。

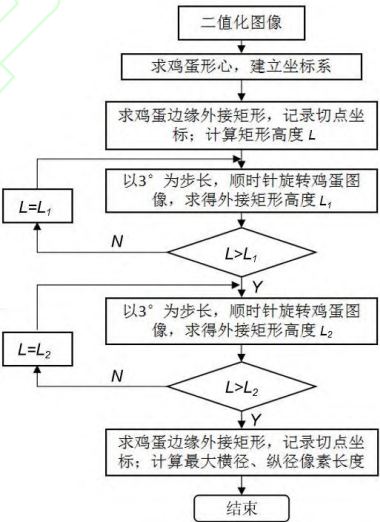


图 10 外接最小矩形法流程图  
Fig. 10 Flow chart of the external minimum rectangular method

## 2.4 鸡蛋新鲜度检测

不同贮藏时间的鸡蛋的透视图不同<sup>[11]</sup>。本文通过图像采集单元 II 采集鸡蛋内部品质信息透射图像，获取透视图颜色信息作为鸡蛋新鲜度判断的特征量。目前，国际上对鸡蛋品质的评价指标主要是鸡蛋新鲜度哈夫值<sup>[12]</sup>。根据哈夫值  $Haugh$  将鸡蛋分为 3 级： $Haugh \geq 72$ ，特级（AA）； $60 \leq Haugh < 72$ ，甲级（A）； $30 \leq Haugh < 60$ ，乙级（B）。根据公式  $Haugh = 100 \lg(H + 7.57 - 1.7W^{0.37})$ ，计算鸡蛋样本哈夫值。

由于 RGB 图像受光照条件影响较大，且分量间相关性较高，所以本文将鸡蛋透视图 RGB 颜色特征转换为 HSI 特征量，分析哈夫值与透视图  $H$ 、 $S$ 、 $I$  分量间关系，建立新鲜度 BP 神经网络，并通过试验训练得出两者之间的最优相关。新鲜度 BP 神经网络采用 3 层前反馈结构，即输入层、隐层和输出层。其中输入层节点数目为 3，分别为  $H$ 、 $S$ 、 $I$  3 个颜色特征分量；输出层节点数为 3，分别对应编码后的哈夫值等级。根据隐含层的经验公式，确定隐层数目  $m$  范围为 [10, 25]，经仿真确定最佳隐层数目为 19。本文取 200 枚用于神经网络训练，后取 120 枚用于试验验证。本试验的结果输出集为 {123}，其中“1”对应特级，“2”对应甲级，“3”对应乙级。

本试验的新鲜度 BP 神经网络结构如图 11 所示，其中， $x = \{x_1, x_2, x_3\}$  为输入， $\omega_{jm}$  为输入层第  $j$  个神经元与隐含层第  $m$  个神经元间连接权重（ $1 \leq j \leq 3$ ， $1 \leq m \leq 19$ ）， $\omega'_{mi}$  为隐含层第  $m$  个神经元与输出层第  $i$  个神经元间的连接权重（ $1 \leq i \leq 3$ ）， $net_m$ 、 $y_m$  分别为隐含层第  $m$  个神经元的输入和输出， $net'_i$  为输出层第  $i$  个神经元的输入， $g = \{g_1, g_2, g_3\}$  为输出。

$$net_m = \sum_{j=1}^3 \omega_{jm} x_j, \quad y_m = f(net_m), \quad net'_i = \sum_{m=1}^{19} \omega'_{mi} y_m, \quad g_i = f(net'_i) \quad (5)$$

结合公式 (5) 可以得到新鲜度 BP 神经网络输出层的输出为

$$g_i = f \left( \sum_{m=1}^{19} \omega'_{mi} f \left( \sum_{j=1}^3 \omega_{jm} x_j \right) \right) \quad (6)$$

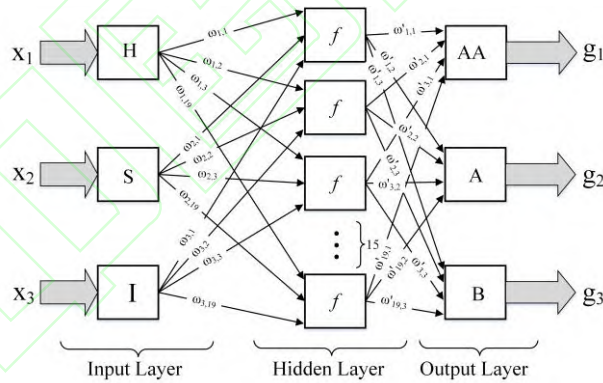


图 11 鸡蛋新鲜度 BP 神经网络结构  
Fig. 11 The BP neural network structure of the egg freshness

## 3 实验测试

### 3.1 裂纹检测结果

以 MATLAB 2012b 为试验平台分别采用 sobel 算法、Canny 算法、传统 Otsu 算法以及本文基于梯度幅度直方图和类间方差最大法的自适应阈值方法算法进行鸡蛋裂纹、边缘轮廓的检测分析，结果如图 12 所示。



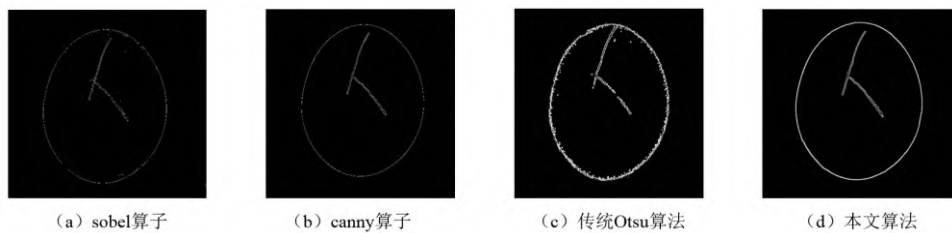


图 12 本文算法与传统算法效果比较  
Fig.12 The effect comparison of the algorithm in this paper and the traditional algorithms

可以看出，使用 sobel 算子、canny 算子方法进行鸡蛋边缘提取时，轮廓易间断；使用传统 Otsu 算法时外部轮廓可较好地识别，然而效果不佳，轮廓较为模糊。本文方法提取的边缘信息清晰可见，具有较好的连续性和完整性，优于其余几种传统方法。

3.2 模型验证

利用训练好的神经网络，随机选取褐壳鸡蛋 140 个，其中裂纹蛋 20 个，完整蛋 120 个（AA 级 30 个，A 级 60 个，B 级 30 个）进行检验分级，验证系统分级和新鲜度 BP 神经网络模型的正确率，结果见表 1。检测过程中，采用外接最小矩形法计算蛋形指数，以此将鸡蛋尺寸分为大、小 2 个等级。测试样本中，检测算法对裂纹蛋的识别率达 98.18%。新鲜度 BP 神经网络检测中，AA 级鸡蛋的新鲜度识别正确率为 96.67%；A 级鸡蛋新鲜度识别正确率为 98.31%；B 级鸡蛋新鲜度识别正确率为 96.67%。综合各检测结果，对不同新鲜度等级的鸡蛋品质整体识别正确率为 97.48%。分级系统能够准确快速分级，图像处理单元 I 每张图像的平均处理时间为 0.26s，图像处理单元 II 每张图像的平均处理时间为 0.13s。

表1 鸡蛋品质无损检测与分级结果  
Table 1 The results of the non-destructive inspecting and grading system of egg quality

| 鸡蛋样本 | 数量类别         | 分类级别            |            | 分类数量 | 鸡蛋类型                  | 正确率    |        |        |
|------|--------------|-----------------|------------|------|-----------------------|--------|--------|--------|
|      |              |                 |            |      |                       | 裂纹识别   | 新鲜度识别  |        |
| 检测实验 | 裂纹蛋<br>(20)  | ①剔除 (20)        |            | 21   | 20 (裂纹) +1 (完整)       | 99.29% | —      |        |
|      | 完整蛋<br>(120) | AA (Haugh≥72)   | ②大<br>(20) | 20   | 29 (AA) +1 (A)        |        | 96.67% | 97.48% |
|      |              |                 | ③小<br>(10) | 10   |                       |        |        |        |
|      |              | A (60≤Haugh<72) | ④大<br>(35) | 35   | 1 (AA) +58 (A) +1 (B) |        |        |        |
|      |              |                 | ⑤小<br>(25) | 25   |                       |        |        |        |
|      |              | B (Haugh<60)    | ⑥大<br>(15) | 14   | 29 (B)                |        |        |        |
|      |              |                 | ⑦小<br>(15) | 15   |                       |        |        |        |

3.3 误差分析

本文设计的鸡蛋新鲜度检测与分级系统，在一级分级系统中剔除裂纹蛋时，鸡蛋表面污渍会对图像处理过程产生干扰，导致个别鸡蛋裂纹识别错误，建议检测前先清洗有污渍的鸡蛋。在检测鸡蛋新鲜度时，设计新鲜度 BP 神经网络进行试验，通过 200 枚模型样本的训练，得出鸡蛋透视图中的  $H$ 、 $S$ 、 $I$  颜色特征分量和新鲜度哈夫值的对应关系。从识别正确率看，模型还存在一定的误差，主要原因有：不同蛋壳厚度、颜色会影响鸡蛋的透光度；本神经网络训练样本数据较小，应增大训练样本数据量以改善训练正确率。

## 4 结论

本文基于机器视觉设计出一体化的鸡蛋品质无损检测与分级系统,利用机器视觉算法实现了鸡蛋裂纹、尺寸、新鲜度与品质等级多品质因素的自动化检测与分级。(1)设计的鸡蛋品质检测与分级机构采用流水线结构,主要包括图像采集单元、分级单元、传输单元、图像处理单元和单片机控制单元等;(2)针对微小裂纹难以识别检测的问题,基于梯度幅度直方图和类间方差最大法进行自动阈值选取,对一级分级时的裂纹蛋进行剔除;(3)采用外接最小矩形法对鸡蛋最大横径、最大纵径、蛋行指数进行测量,该方法可检测并判断出鸡蛋的大小,在二级分级系统中进行分级;(4)利用鸡蛋透射图颜色信息的变化与新鲜度指标哈夫单位值间的关系,建立新鲜度 BP 神经网络对新鲜度进行分级。试验结果表明,裂纹识别正确率为 98.18%,对不同新鲜度等级的鸡蛋品质识别正确率为 97.48%。本文所设计的系统检测精确度较高,结构简单,执行速度快,可应用于禽蛋养殖场的规模化在线检测,以及其它农产品的自动化检测与分级。

## 参考文献

- [1] 孙力, 蔡健荣, 李雅琪, 等. 禽蛋壳品质无损检测方法研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(5): 11-17.
- [2] ZHANG P, YU Z, WANG L, et al. Design and experiment on a sucking and conveying mechanism associated with egg grading set-up based on machine vision system[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 6(6):126-133.
- [3] ELSTER R T, GOODRUM A J W. Detection of cracks in eggs using machine vision[J]. Acta Crystallographica, 1991, 34(1): 307-312.
- [4] YOON S C, LAWRENCE K C, JONES D R, et al. Improved modified pressure imaging and software for egg micro-crack detection and egg quality grading[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2012, 28(28):283-293.
- [5] PRIYADUMKOL J, KITTICHAIKARN C, THAINIMIT S. Crack detection on unwashed eggs using image processing[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 209(9): 76-82.
- [6] 段宇飞, 王巧华, 马美湖, 等. 基于 LLE-SVR 的鸡蛋新鲜度可见/近红外光谱无损检测方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(4): 981-985.
- [7] 魏萱, 何金成, 郑书河, 等. 基于图像纹理特征的土鸡蛋微裂纹无损检测[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2017, 46(6): 716-720.
- [8] 房盟盟, 丁佳兴, 崔腾飞, 等. 基于高光谱成像技术的鸡蛋哈氏单位快速无损检测[J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 245-249.
- [9] MERTENS K, KEMPS B, PERIANU C, et al. 10 - Advances in egg defect detection, quality assessment and automated sorting and grading[J]. Improving the Safety & Quality of Eggs & Egg Products Egg Chemistry Production & Consumption, 2011:209-241.
- [10] 王巧华, 王彩云, 马美湖. 基于机器视觉的鸭蛋新鲜度检测[J]. 中国食品学报, 2017, 17(8): 268-274.
- [11] KITA Y, KATO K, KIM H, et al. Nondestructive measurement of shell egg freshness using transmission spectroscopy: Freshness prediction fulfilling all storage conditions: Sealing, opening and in carbon dioxide[J]. Japan Journal of Food Engineering, 2007, 8(2):83-88.
- [12] 李小利. 哈氏单位是检验鸡蛋品质的重要指标[J]. 检验检疫学刊, 2013, 23(2): 48-49.