

鸡蛋质量与长短轴在线检测方法^{*}

张世庆¹ 涂佳¹ 孙力² 蔡健荣² 顾海锋¹ 顾颢¹

(1. 江苏大学机械工程学院, 镇江 212013; 2. 江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013)

摘要: 开发了一套基于动态称量和图像处理的鸡蛋在线检测系统。通过应变片式传感器动态检测质量,用图像处理检测鸡蛋长短轴。对117个鸡蛋进行在线验证,建立了鸡蛋长短轴检测模型,实现了鸡蛋质量和长短轴的在线检测,并对通过不同方法所得到的鸡蛋长短轴及鸡蛋质量进行了对比。结果表明,在线系统检测鸡蛋质量误差小于 $\pm 1\text{ g}$,短轴误差范围 $-0.5\sim 0.7\text{ mm}$,长轴误差范围 $\pm 0.6\text{ mm}$,鸡蛋检测速率为4枚/s,满足在线检测的要求,证明在线系统具有较强的合理性及鲁棒性。

关键词: 鸡蛋 质量 长短轴 图像 在线检测

中图分类号: TP274⁺.5; TS253.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)02-0204-06

引言

中国是禽蛋的生产和消费大国,近几年,全国的禽蛋年产量均在2 500万t以上,占当年世界总产量的42%以上^[1]。鸡蛋质量、蛋形指数(蛋形指数为鸡蛋长轴之比)、色泽、表面污渍和裂纹等是衡量其品质的重要指标。国内外学者利用图像处理等方法对禽蛋质量、色泽、蛋形指数、裂纹和双黄蛋等进行分级^[2-15],但均为静态实验所得,图像法预测禽蛋质量时不仅与长、短轴的检测精度相关,还受禽蛋密度影响,禽蛋质量最大预测误差为 $\pm 3\text{ g}$,分级准确率难以满足市场需求。蛋壳耐压强度与蛋形指数相关,故分级拨杆拨蛋力与蛋形指数、禽蛋质量密切相关。

本文开发一套用于检测鸡蛋质量和长短轴的在线检测系统,计算机对获取的2个鸡蛋参数综合并与国家分级标准^[16]对比后判定鸡蛋等级,反馈给分级装置对鸡蛋进行在线分级,并对不同获取方法得到的质量、长短轴参数进行比较。

1 鸡蛋质量及长短轴在线检测系统设计

鸡蛋质量及长短轴在线检测系统(图1)由支撑部件、传送部件、称量模块、图像采集装置、红外触发装置和处理软件组成。系统通过采集图像数据,获取鸡蛋表面尺寸信息;通过采集应变片式传感器(XL-1B型,量程300 g)信号,实现鸡蛋质量动态

检测。

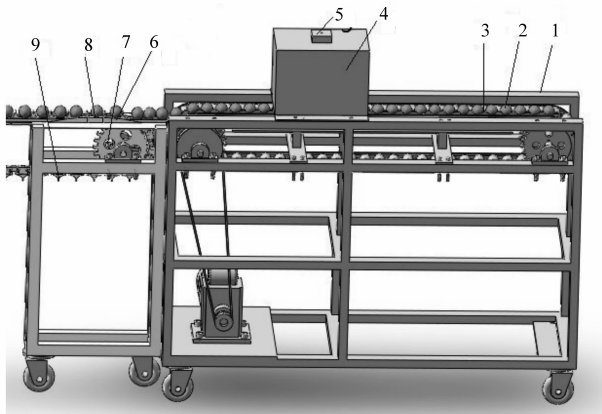


图1 鸡蛋质量及长短轴在线检测系统

Fig. 1 Online system for egg mass and major-minor-axis

1. 机架 2. 鸡蛋 3. 橡胶辊 4. 光箱 5. 相机 6. 支撑滑道
7. 应变片式传感器 8. 称量滑道 9. Y型辊子

图像检测及动态称量单元采取不同的支撑方式。图像检测单元支撑部件由一排橡胶辊组成,并对辊子的形状、硬度(55A)和表面粗糙度进行了专门设计,以保证鸡蛋在输送过程中受辊子摩擦而自转,同时尽量保持长轴在水平状态;动态称量单元采用Y型辊支撑,便于安装动态称量传感器。支撑部件安装在封闭链条上,链条由调速电动机驱动,生产线鸡蛋检测速度为4枚/s,辊子间距为50.8 mm。

图像检测单元由光源箱、Lumenera相机(LU075C型,加拿大)、高频灯、红外触发(频率38 kHz)组成。采用一次拍摄多枚鸡蛋的方式。系

收稿日期: 2013-01-28 修回日期: 2013-03-04

^{*} “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B12)

作者简介: 张世庆,副教授,主要从事测控技术在农产品无损检测中的应用研究,E-mail: zsq@ujs.edu.cn

通讯作者: 蔡健荣,教授,博士生导师,主要从事农产品无损检测技术研究,E-mail: jrcrai@ujs.edu.cn

统初始自动计数值 $S = 1$, 当无鸡蛋通过时, 发生器发出的红外信号被接收器接收, 输出低电平; 当有鸡蛋通过时, 红外线第 1 次被遮挡, 接收器输出高电平可触发相机拍摄。系统软件对拍摄的图像进行处理, 并记录视野中鸡蛋个数, 更新 S 。随着输送线向前运动, 红外接收器开始计数, 当脉冲数为 S 时, 进入下次拍摄循环, 这样可避免多拍或漏拍现象的发生。考虑到生产线的速度、图像质量等因素, 相机高度调整为每幅图像采集 3 个蛋位 ($S \leq 3$)。

鸡蛋动态称量的信号调理电路采用二级放大结合低通滤波以增加信号强度并抑制噪声。为节省硬件资源, 信号采集方式采用阈值触发。利用采集卡 (USB-1208FS 型, 美国) 对信号采样, 采样频率为 10 kHz, 采样点数为 2 000。整个检测系统流程如图 2 所示。

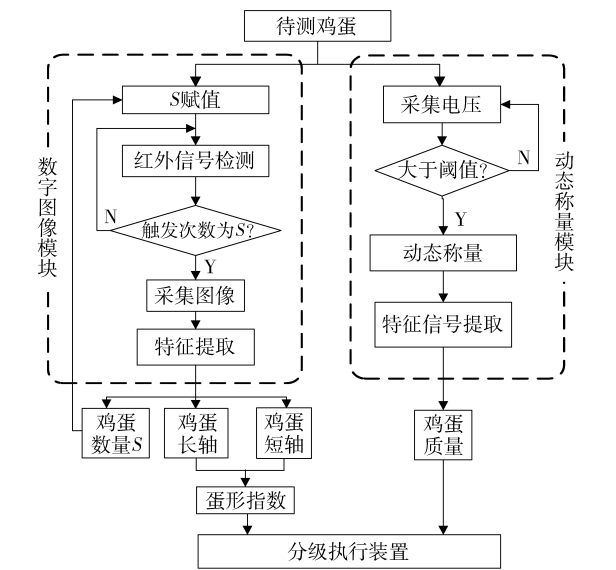


图2 鸡蛋质量及长短轴在线检测系统流程图

Fig.2 Flowchart of online detection system for egg mass and major-minor-axis

计算机获取鸡蛋质量、长短轴等参数后, 按照国家标准即可实现等级判定, 再将结果反馈给执行装置, 将鸡蛋分为 XL 级 (单枚鸡蛋质量大于 68 g)、L 级 (单枚鸡蛋质量 58 ~ 68 g)、M 级 (单枚鸡蛋质量 48 ~ 58 g)、S 级 (单枚鸡蛋质量小于等于 48 g) 以实现在线分级。分级流程图如图 3 所示。

2 鸡蛋特征信号处理

2.1 鸡蛋形态特征提取

相机参数设置: 帧率 60 帧/s, 曝光时间 7 ms, 物距 450 mm, 焦距 8 mm, 图像大小 640 像素 × 480 像素, 保证图像无拖尾现象。单幅图像 (含 3 枚鸡蛋时) 图像采集和处理总耗时为 680 ms, 满足 4 枚/s 的设计要求。图 4a、4b 为连续拍摄的前、后两幅图像。

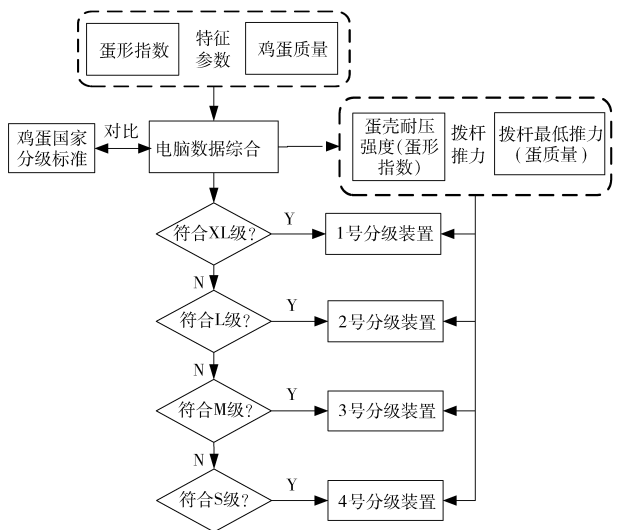


图3 分级系统流程图

Fig.3 Flowchart of classification system

确定光照和相机位置后, 设置图像的感兴趣区域 ROI (图 4c), 目的是将与鸡蛋无关的区域去除, 减少图像处理时间。根据图像中鸡蛋颜色特点, 利用 $R-B$ 色差法 (图 4d) 对 $R-B$ 图像进行自适应图像阈值分割, 可以得到极佳的分割效果。鸡蛋上的污渍、斑点及表面反光会导致鸡蛋区域内部产生空洞, 影响特征提取, 采用图像形态学闭运算能较好地填补空洞。图像中存在的其他非目标小区域可采用面积阈值方法直接去除 (图 4e)。对每个连通域进行处理后, 计算鸡蛋区域外接矩形, 通过外接矩形长、宽可得到鸡蛋长轴和短轴, 并计算蛋形指数 (图 4f)。

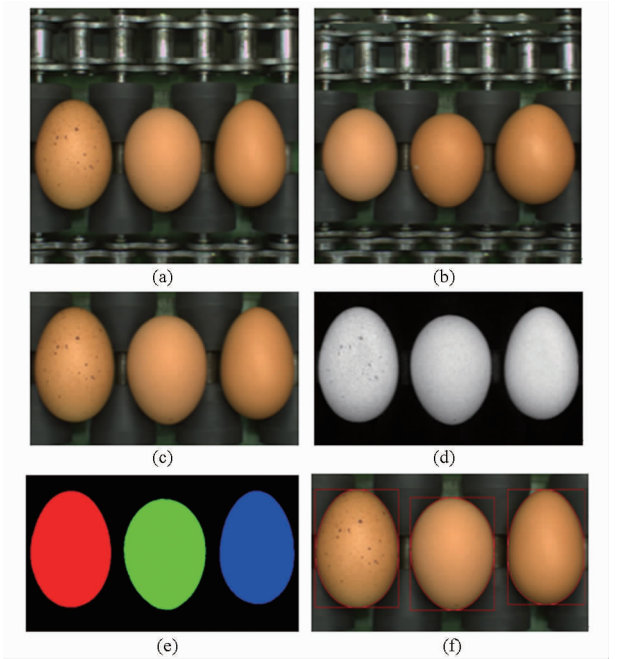


图4 鸡蛋图像处理过程示意图

Fig.4 Processing flow chart of images for eggs

(a) 原始图像 A (b) 原始图像 B (c) ROI 区域
(d) $R-B$ 图像 (e) 面积阈值法提取鸡蛋 (f) 特征提取

2.2 称量信号特征选取

动态称量流程为:鸡蛋随 Y 型辊子前进并被支撑滑道架起,当鸡蛋到达称量滑道时,应变片式传感器输出的信号经调理电路处理后产生大于 1.9 V 的电信号,采集卡开始采集数据。图 5 为鸡蛋称量波形分析图。从图 5a、5c 可知,由于环境、振动等干扰,信号含较多高频噪声。通过快速傅里叶变换(FFT)将信号从时域转换到频域,可以在频域中搜索出鸡蛋通过滑道时信号主要频率的变化。

通过大量的动态称量实验,对比空载和鸡蛋通过称量滑道时的频域图(图 5b、5d),特别是虚线左端低频部分,发现空载时频域图(图 5e)与鸡蛋通过称量滑道时频域图(图 5f)在小于 20 Hz 部分差异较大,因此该区域有用信号较多,采用 5 阶

巴特沃斯低通滤波(图 5g)截止高频分量,由图 5h 可见经滤波后的时域图消除了高频噪声。鸡蛋上称量滑道时对滑道形成一个冲击,但受阻尼作用会不断衰减,在 1 500 点后冲击产生的震荡逐渐消失,故选取 1 600 ~ 2 000 点信号的均值作为鸡蛋质量特征信号。

3 鸡蛋质量及鸡蛋长短轴的检测实验

3.1 鸡蛋质量、长短轴检测方法及预实验

鸡蛋质量可以采用动态称量或者通过鸡蛋体积线性回归^[17]得到。体积线性回归法得到的回归系数是鸡蛋的密度均值。

鸡蛋的长轴可以通过图像特征提取直接获得或者利用质量、密度、短轴计算得到。在生产线上,运

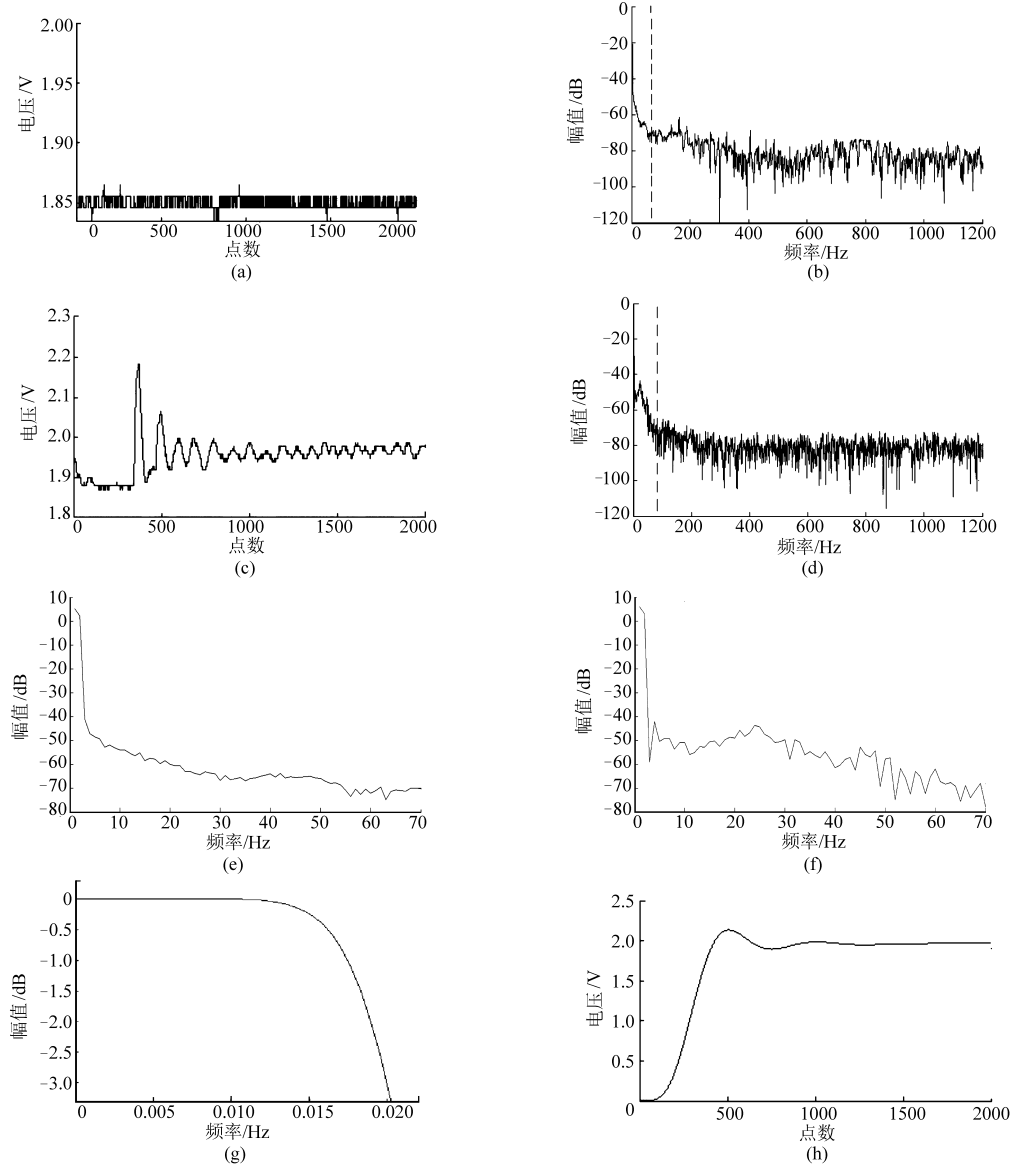


图 5 鸡蛋称量波形分析图

Fig. 5 Waveform analysis diagram for eggs weighing

(a) 空载时域图 (b) 空载频域图 (c) 鸡蛋通过的时域图 (d) 鸡蛋通过的频域图
(e) 图 5b 虚线左端放大图 (f) 图 5d 虚线左端放大图 (g) 低通滤波频域图 (h) 滤波后时域图

动中的鸡蛋很难做到长轴与水平面呈平行状态,支撑辊的设计决定了图像长轴尺寸与鸡蛋实际长轴的误差,故需对获取鸡蛋质量和长轴的方法进行对比分析,同时验证支撑辊的设计效果。

实验材料为江苏大学凯源超市当日新鲜洋鸡蛋共219枚,其中117枚用于生产线检测,其余102枚用于密度检测。对所有鸡蛋进行清洗除去表面污物,快速风干后编号。采用盐水法悬浮测量鸡蛋密度,同批次102枚鸡蛋的密度分布遵从正态分布(图6),同批次鸡蛋其密度有个体差异。密度分布范围为1.071~1.087 g/cm³。随着储藏时间的延长,鸡蛋水分流失,密度会不断降低。

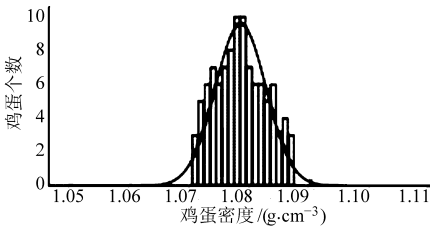


图6 鸡蛋密度直方图
Fig. 6 Histogram of eggs density

3.2 鸡蛋质量检测方法对比

采用动态称量得到的误差范围如图7所示。鸡蛋动态称量实验误差为±1 g。

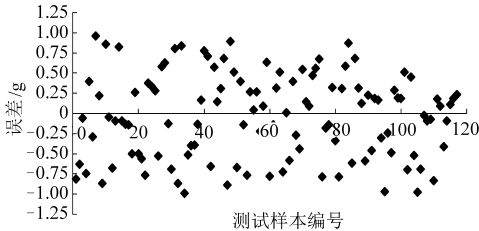


图7 鸡蛋质量误差分布图
Fig. 7 Distribution diagram of egg weight error

文献[17]中利用标准椭球体体积估算禽蛋的体积,长轴、短轴预测采用图像回归法。标准椭球体体积公式为

$$V = \pi LB^2/6 \tag{1}$$

式中 V ——鸡蛋体积 L ——鸡蛋长轴
 B ——鸡蛋短轴

得到鸡蛋质量回归模型为

$$m = 1.07V \tag{2}$$

用回归模型对鸡蛋质量进行预测,得到鸡蛋质量与鸡蛋实际质量误差为-1.1~1.9 g,其密度为1.07 g/cm³,与本文实验得到的密度范围相近。但同一批次鸡蛋密度分布遵从正态分布,用固定密度计算质量会与实际质量存在误差,因此其误差大于动态称量的误差,且随着储藏时间延长,鸡蛋质量误差会进一步增大。

3.3 鸡蛋长轴检测方法对比

采用图像获取外接矩形长、宽分别建立长轴、短轴模型并修正,得到长轴误差范围为±0.6 mm。短轴误差范围为-0.5~0.7 mm,其分布如图8所示。统计数据中发现鸡蛋实际短轴与图像提取的短轴存在一定的角度偏差(0°~3°)是导致短轴回归误差的直接原因。

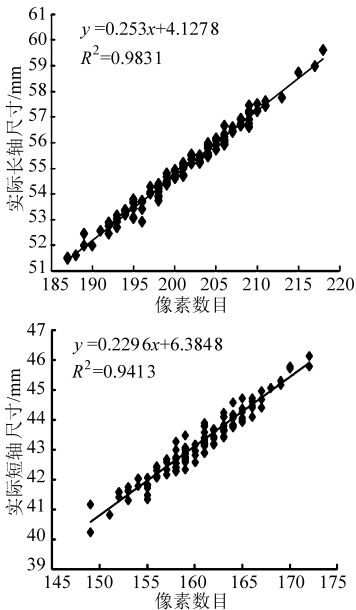


图8 鸡蛋长轴及短轴散点图
Fig. 8 Scatter diagram of egg long axis and short axis

而采用动态称量所得的质量、排水法所测密度和图像法所得短轴计算方法得到的长轴与真实长轴偏差结果如图9所示。鸡蛋长轴误差范围为±2 mm。

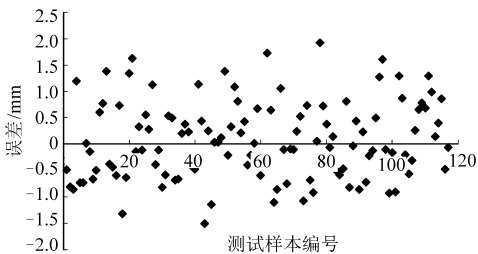


图9 鸡蛋长轴误差分布图
Fig. 9 Egg long axis error distribution diagram

由此可见,如果设计了合适的支撑辊,保证了鸡蛋与水平面的平行度,那么采用图像法获取的长轴精度比采用其他参数推算出长轴的方法精度高。由于鸡蛋质量、短轴、密度参数的检测过程中必然存在检测误差,利用其计算长轴参数,误差将累积,导致误差进一步加大。

3.4 鸡蛋分级系统判别结果

鸡蛋通过在线检测系统检测并分级后结果如表1所示。

表 1 鸡蛋分级系统判别结果

Tab.1 Discrimination results of egg grading system

分级标准	鸡蛋等级			
	XL 级	L 级	M 级	S 级
实际个数	1	50	65	1
正确分级数	1	50	61	1
错误分级数	0	0	4	0
正确判别率/%	100	100	93.84	100

4 结 论

(1)设计了一套满足生产线要求的基于动态称量和图像融合的鸡蛋长短轴检测系统,检测速度可达 4 枚/s,动态称量检测鸡蛋质量误差范围 ±1 g,图像检测短轴长度的误差范围 -0.5 ~ 0.7 mm,长轴误差范围 ±0.6 mm。长轴与短轴的比值可以求出

鸡蛋的蛋形指数。计算机对鸡蛋质量和长短轴参数综合后确定了鸡蛋分级拨杆最小拨蛋力度,再反馈到分级执行装置,实现鸡蛋在线检测分级。

(2)对比了图像法和长轴估算法 2 种检测长轴的方法。结果显示,利用专用支撑辊支撑鸡蛋,采用图像法直接获取长轴参数的精度高。

(3)对比了动态称量和通过体积估算质量 2 种方法,结果显示动态称量精度更高,原因是鸡蛋密度有个体差异,同时随着新鲜度变化密度会下降,而鸡蛋体积几乎不变。

(4)通过在线检测系统对鸡蛋分级后统计鸡蛋 XL 级正确判别率为 100%,L 级正确判别率为 100%,M 级正确判别率为 93.84%,S 级正确判别率为 100%。

参 考 文 献

1 姜正军,霍兰芝. 我国蛋品加工业的现状与对策[J]. 食品科技, 2004(11): 4-7

2 屠康,潘磊庆. 基于计算机视觉的鸡蛋污斑检测[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2007, 28(3): 189-192.
Tu Kang, Pan Leiqing. Dirt detection on brown eggs based on computer vision[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2007, 28(3): 189-192. (in Chinese)

3 Mertens K, Ketelaere B D E, Kamers B. Dirt detection on brown eggs by means of color computer vision[J]. Poultry Science, 2005, 84(10): 1 653-1 659.

4 熊利荣,王树才. 基于机器视觉的鸭蛋裂纹自动检测[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(12): 3 152-3 154.
Xiong Lirong, Wang Shucui. The auto-detection of duck eggshell crack based on computer vision[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2009, 48(12): 3 152-3 154. (in Chinese)

5 贾超,郁志宏,王亮,等. 基于机器视觉的禽蛋图像分割方法研究[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(5): 77-82.
Jia Chao, Yu Zhihong, Wang Liang, et al. Study on egg image segmentation method based on machine vision [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(5): 77-82. (in Chinese)

6 Lin H, Zhao J W, Chen Q S, et al. Eggshell crack detection based on acoustic response and support vector data description algorithm[J]. European Food Research and Technology, 2009, 230: 95-100.

7 Lin H, Zhao J W, Chen Q S, et al. Eggshell crack detection based on acoustic impulse response and supervised pattern recognition [J]. Czech Journal of Food Science, 2009, 6:393-402.

8 郑丽敏,杨旭,徐桂云,等. 基于计算机视觉的鸡蛋新鲜度无损检测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 335-339.
Zheng Limin, Yang Xu, Xu Guiyun, et al. Nondestructive detection of egg freshness based on computer vision[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(2): 335-339. (in Chinese)

9 Dehrouyeh M H, Omid M. Grading and quality inspection of defected eggs using machine vision[J]. International Journal of Advance Science and Technology, 2010, 16:43-49.

10 Javadikia, Payam. Measuring the weight of egg with image processing and ANFIS model [J]. Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing, 2011(1):407-416.

11 王巧华,文友先. 基于 BP 神经网络的鸡蛋大小分级方法研究[J]. 湖北农业科学, 2005(1): 97-99.
Wang Qiaohua, Wen Youxian. Research on the grading method of egg's weight based on BP neural network [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2005(1): 97-99. (in Chinese)

12 邓海霞,刘友明,文友先,等. 基于机器视觉群体鸡蛋尺寸的检测方法[J]. 华中农业大学学报:自然科学版, 2006, 25(4): 452-454.
Deng Haixia, Liu Youming, Wen Youxian, et al. Research on method of detecting egg size by machine vision [J]. Journal of Huazhong Agricultural University: Natural Science Edition, 2006, 25(4): 452-454. (in Chinese)

13 周平,刘俭英,王巧华,等. 鸡蛋图像检测方法与质量预测模型[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11): 80-83.
Zhou Ping, Liu Jianying, Wang Qiaohua, et al. Egg image detection method and weight prediction model [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 80-83. (in Chinese)

14 周平,赵春江,王纪华,等. 基于机器视觉的鸡蛋体积与表面积计算方法[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 168-170.
Zhou Ping, Zhao Chunjiang, Wang Jihua, et al. Egg geometry calculations based on machine vision [J]. Transactions of the

Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5):168 – 170. (in Chinese)

15 周平,赵春江,郑文刚,等. 基于二分法的鸡蛋图像边缘快速检测方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 238 – 241.
Zhou Ping, Zhao Chunjiang, Zheng Wengang, et al. Fast method of egg image edge detecting based on dichotomy [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 238 – 241. (in Chinese)

16 SB/T 10638—2011 国家鲜鸡蛋、鲜鸭蛋分级标准[S]. 2011.
SB/T 10638—2011 Grading of shell hen eggs and duck eggs[S]. 2011. (in Chinese)

17 姜松,漆虹,王国江,等. 禽蛋基本特性参数分析与试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(4): 137 – 142.
Jiang Song, Qi Hong, Wang Guojian, et al. Analysis and experiment on basic properties of poultry eggs [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4): 137 – 142. (in Chinese)

Online Detection Method of Eggs Major-minor-axis and Mass

Zhang Shiqing¹ Tu Jia¹ Sun Li² Cai Jianrong² Gu Haifeng¹ Gu Hao¹

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: An online detection system based on dynamic weight measurement and graphic processing skill was developed. The developed system weighted dynamically the mass of egg sample using strain gauge weight and calculated major-minor-axis of egg through image generation. Comparison of the egg long axis and egg mass by different methods proved that the online system had a strong robust. Sample of 117 eggs were used to check the system, with mass error of ± 1 g, minor-axis error of $-0.5 \sim 0.7$ mm and major-axis error of ± 0.6 mm. The correct classification rate of XL grade, L grade, M grade and S grade were 100%, 100%, 93.84% and 100%. The detection velocity was 4 eggs per second. Experiments show that the online detection system meets corresponding standards.

Key words: Egg Mass Major-minor-axis Image Online detection