

粉碎机筛网破损线阵扫描自动识别系统的设计与实现

何冲 刘梅英 吴慧子 牛智有

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 根据粉碎物料颗粒特征, 构建一种基于线阵光学图像采集技术与皮带同步传送技术相结合的动态扫描检测装置和基于虚拟仪器开发平台 LabVIEW 的粉碎机筛网破损识别系统。以玉米和小麦 2 种谷物原料为试验样本, 在筛网孔径分别为 2、4、6 mm 条件下, 以颗粒平均面积为判别指标, 粉碎玉米和小麦的筛网破损平均识别率分别为 91.25%、82.50%、96.25% 和 93.75%、86.25%、78.75%; 以颗粒面积变异系数为判别指标, 粉碎玉米和小麦的筛网破损平均识别率分别为 93.75%、98.75%、97.50% 和 93.75%、87.50%、96.25%。结果表明, 以面积变异系数作为判定筛网破损的判别指标的识别效果优于平均面积的识别效果, 所构建的自动识别系统可以实现对粉碎机破损筛网的实时自动识别。

关键词 粉碎机; 筛网; 破损识别; 图像处理; 平均面积; 变异系数

中图分类号 S 817.22; TP 274 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2017)01-0123-07

粉碎是饲料加工过程中的关键工序之一。粉碎粒度的均匀性是产品加工的主要指标。筛网是控制粉碎产品粒度的主要配件, 是粉碎机主要易损件之一^[1]。目前, 筛网破损现象在饲料生产中十分常见, 筛网的破损主要是由于原料中的硬质石块、金属异物等杂质的冲击造成的^[2-6]。筛网的破损会增大筛网的开孔率, 增大了部分筛孔直径, 缩小筛孔的中心距, 增大了颗粒粉料的不均匀性, 导致粉碎粒径不符合产品粒度要求, 影响饲料产品的加工质量。粉碎颗粒不均匀导致在加工过程中饲料出现离析现象, 从而破坏产品的均匀性, 同时粉碎粒度的大小直接影响到动物的消化吸收、粉碎成本、后续设备加工和产品质量。因此, 控制好物料的粉碎粒度也是饲料生产的关键环节^[7]。目前, 在实际生产过程中, 筛网破损的识别主要依靠人工进行, 在溜管中取样, 采用人工观察或标准筛筛分的方法, 通过观察粉碎产品的粒径大小来判断筛网是否破损, 工作步骤繁琐、效率低, 且不符合现代饲料工业的发展需求。随着现代计算机视觉技术的不断发展, 其在农产品质量检测与外观缺陷识别等方面得到了广泛的应用^[8-13]。在饲料加工领域, 国外饲料企业使用粉碎机筛网破

损自动检测装置, 该装置专用于监测粉碎筛网是否破损, 当取样装置从粉碎机后道工艺流程中自动采取粉状样本后, 一旦出现大粒度粒子情况, 智能摄像机自动实时检测到大粒度粒子, 立即向操作者发出报警^[14]。本研究利用光学成像技术, 设计 1 种粉碎机筛网破损线阵动态扫描识别装置, 在虚拟仪器开发平台 LabVIEW 下建立动态粉碎机筛网破损识别系统, 实现筛网破损的快速识别与监测, 旨在为饲料粉碎过程中粉碎机筛网破损识别提供新的思路和方法。

1 材料与方法

1.1 识别系统的设计

1) 系统的组成。系统硬件部分主要由振动给料机、皮带输送机、线阵相机、线阵光源、调速电机、计算机等组成。各部件的具体配置如下: 振动给料机 GZV3; 线阵相机 BLU0208M20, 分辨率 2 048 pix × 2 048 pix, 行频 9.5 kHz(博润特, 中国); 计算机内存 4 G, 主频 3.1 GHz; 线光源 LSL-494-40-W, 480 mm (H) × 30 mm (V)(康士达科技有限公司, 中国); 调速电机 LINIXYN90-220-60(浙江联宜电机); 皮带

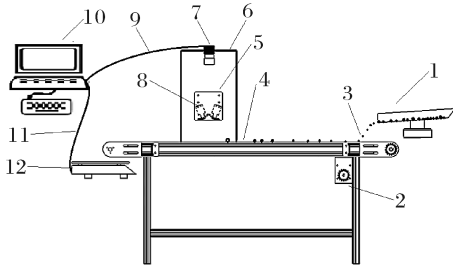
收稿日期: 2016-04-22

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201003063-04)

何冲, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工技术与装备. E-mail: 414646820@qq.com

通信作者: 牛智有, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工技术与装备. E-mail: nzhy@mail.hzau.edu.cn

输送机 1 800 mm×250 mm×500 mm。线阵扫描自动识别系统示意图如图 1 所示。



- 1.料斗 Hopper; 2.振动给料机 Vibrating feeder; 3.调速电机 Speed control motor; 4.颗粒饲料 Pellet feed; 5.输送带 Conveyor;
- 6.光源固定板 Light source fixing plate; 7.黑箱 Camera obscura;
- 8.线阵相机 Line-scan camera; 9.线阵光源 Line-array LED light source; 10.USB 数据高速传输线 USB;
- 11.计算机 Computer; 12.回收盒 Collection box.

图 1 系统结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of system

软件部分采用虚拟仪器开发平台 LabVIEW 编译而成,主要包括数据采集、图像分析与处理、处理结果保存等。开发的自动识别系统软件界面如图 2 所示。该软件能实现图像的动态采集和实时分析,主要包括以下功能:(1)调试和初始化相机;(2)实现几种不同规格筛网的破损检测;(3)动态采集图像并将图像中的大颗粒高亮表示;(4)实时处理图像数据并将数据分析呈现在面板上;(5)当软件确定筛网破损时软件红灯高亮并同时响起警报声;(6)控制整个系统的启动与停止。

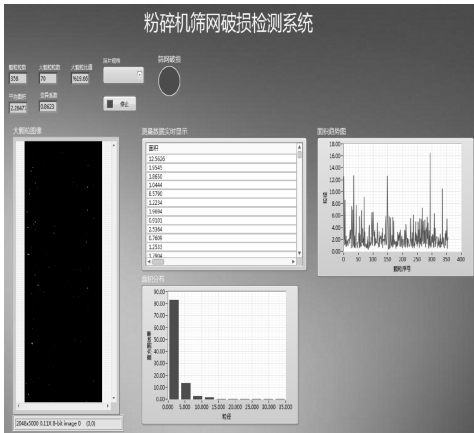


图 2 软件界面

Fig.2 Software interface

2)图像采集。运用线阵扫描成像技术采集粉碎物料的图像,线阵相机以线扫描方式扫描运动中输送带上的粉碎物料,按照扫描相机预设的行数,实时输出已扫描的颗粒图像。线阵相机的行频设定为

750 Hz,表示线阵相机每秒钟需要采集 750 条“线图像”,所以输送带的速度快慢会影响相机的图像采集效果。如果输送带的线速度与相机采集行频不匹配会使我们采集的图像发生畸变。输送带的速度与线阵相机行频可根据以下公式进行适配计算:

$$V = d_v \times f_{\text{CCD}} = \frac{L}{P_{\text{IX}}} \times f_{\text{CCD}} \quad (1)$$

式中 d_v 为线阵相机的实际精度,即每个像素单元的边长, L 为输送带宽度, P_{IX} 为线阵相机的分辨率, f_{CCD} 为线阵相机行频。线阵相机分辨率为 2 048 pix×2 048 pix,输送带宽度为 250 mm,根据公式(1)计算,本系统输送带速率为 9.15 cm/s。

3)图像预处理。图像预处理流程如图 3 所示。灰度图和二值化以后的效果图如图 4 所示。

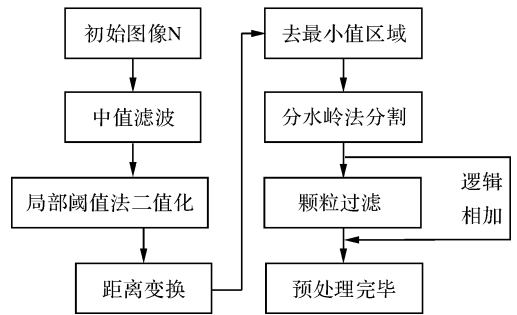


图 3 图像预处理流程图

Fig.3 The pretreatment flowchart

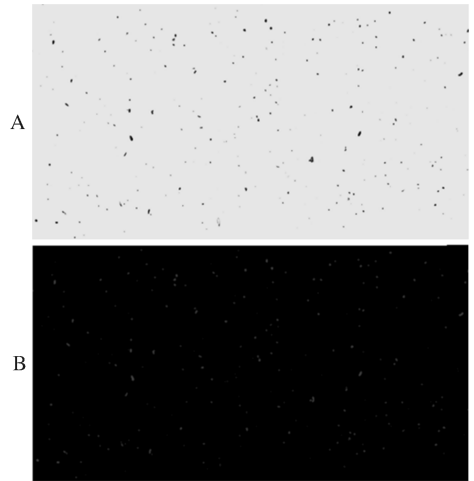


图 4 灰度图(A)和二值图(B)

Fig.4 Grayscale(A) and binary image(B)

1.2 粉碎颗粒特征参数选取

通过预试验结果分析与判断,以粉碎颗粒的平均面积和颗粒面积的变异系数为特征参数对筛网破损进行识别。对预处理完毕的图像信息进行特征提取,通过统计与计算得出颗粒平均面积与面积变异

系数,其计算公式如下:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \quad (2)$$

$$C_V = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}{\bar{S}} \quad (3)$$

式中 \bar{S} 为该样本的平均面积, mm^2 ; C_V 为面积变异系数; S_i 为第 i 个颗粒的投影面积, mm^2 ; n 为颗粒个数。

1.3 筛网破损颗粒阈值的确定

1) 颗粒平均面积阈值的确定。为了确定筛网破

损所对应的样本颗粒平均面积的阈值,取玉米和小麦谷物原料为实验样本,分别对孔径为 2、4、6 mm 3 种规格的筛网进行未破损(破损)预试验,利用所建立的识别系统采集样本颗粒图像,计算对应样本平均面积,平均面积分布图与识别阈值线如图 5 所示。

由图 5 可知,玉米和小麦粉碎后的颗粒在破损和未破损的条件下其颗粒面积有明显的差别。分别研究图 5A-F 中筛网破损与未破损的曲线,取筛网破损粉碎颗粒平均面积的最小值和筛网未破损粉碎颗粒平均面积的最大值的均值作为阈值,使其对应

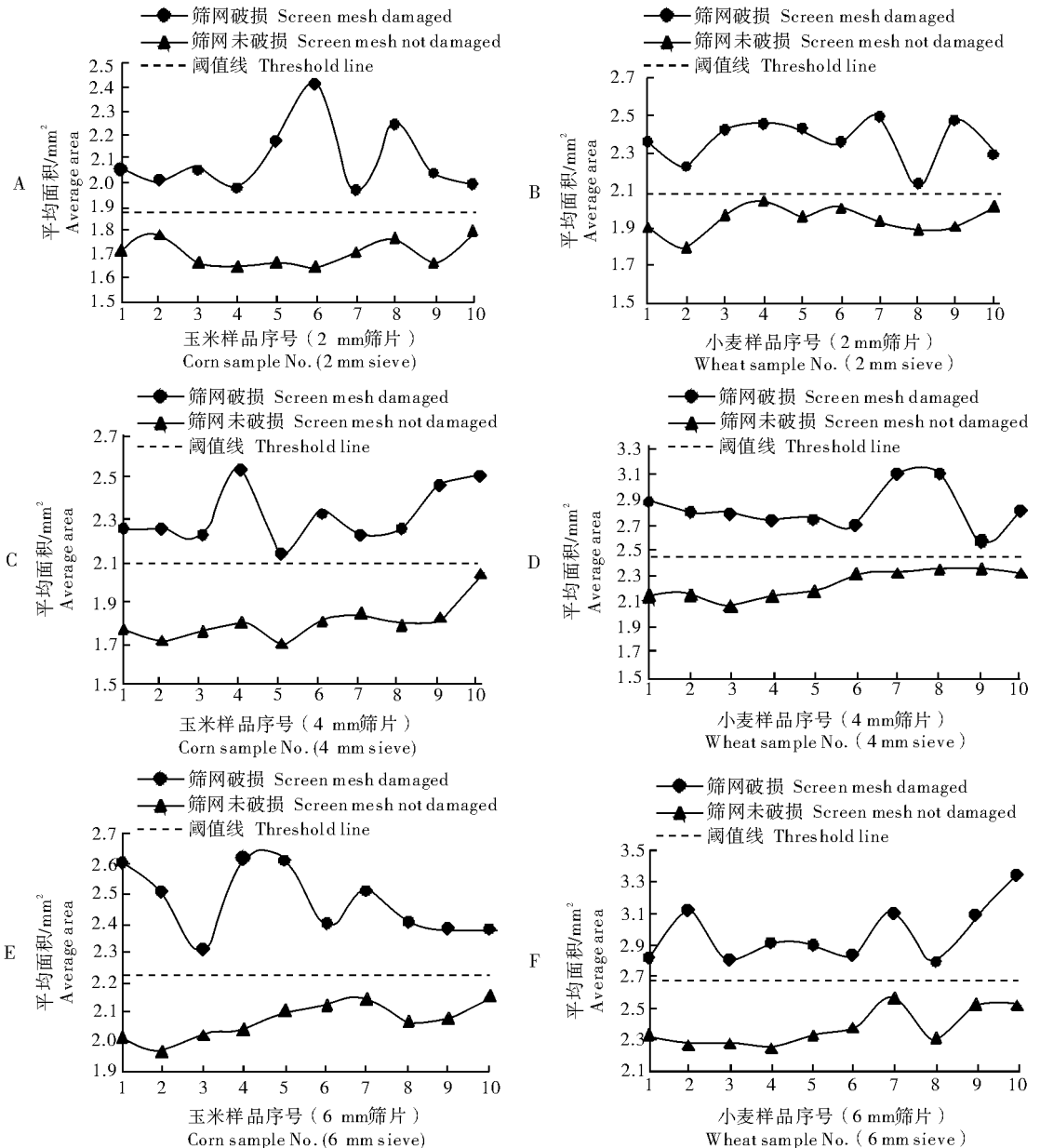


图 5 颗粒样本平均面积分布图与识别阈值线

Fig.5 The average area of particle sample detector figure and recognition threshold line

x 轴方向上的阈值线能够准确的将两曲线分割开来。通过计算,筛网孔径为 2、4、6 mm 的破损筛网对应的玉米颗粒平均面积阈值分别为 1.88、2.08、2.24 mm^2 ,小麦颗粒平均面积阈值分别为 2.09、2.44、2.68 mm^2 。

2) 颗粒面积变异系数阈值的确定。为了确定筛

网破损所对应的样本颗粒面积变异系数的阈值,取玉米和小麦谷物原料为试验样本,分别对孔径为 2、4、6 mm 3 种规格的筛网进行未破损(破损)预试验,利用所建立的识别系统采集样本颗粒图像,测定颗粒样本面积,并计算其变异系数,颗粒面积变异系数分布图与识别阈值线如图 6 所示。

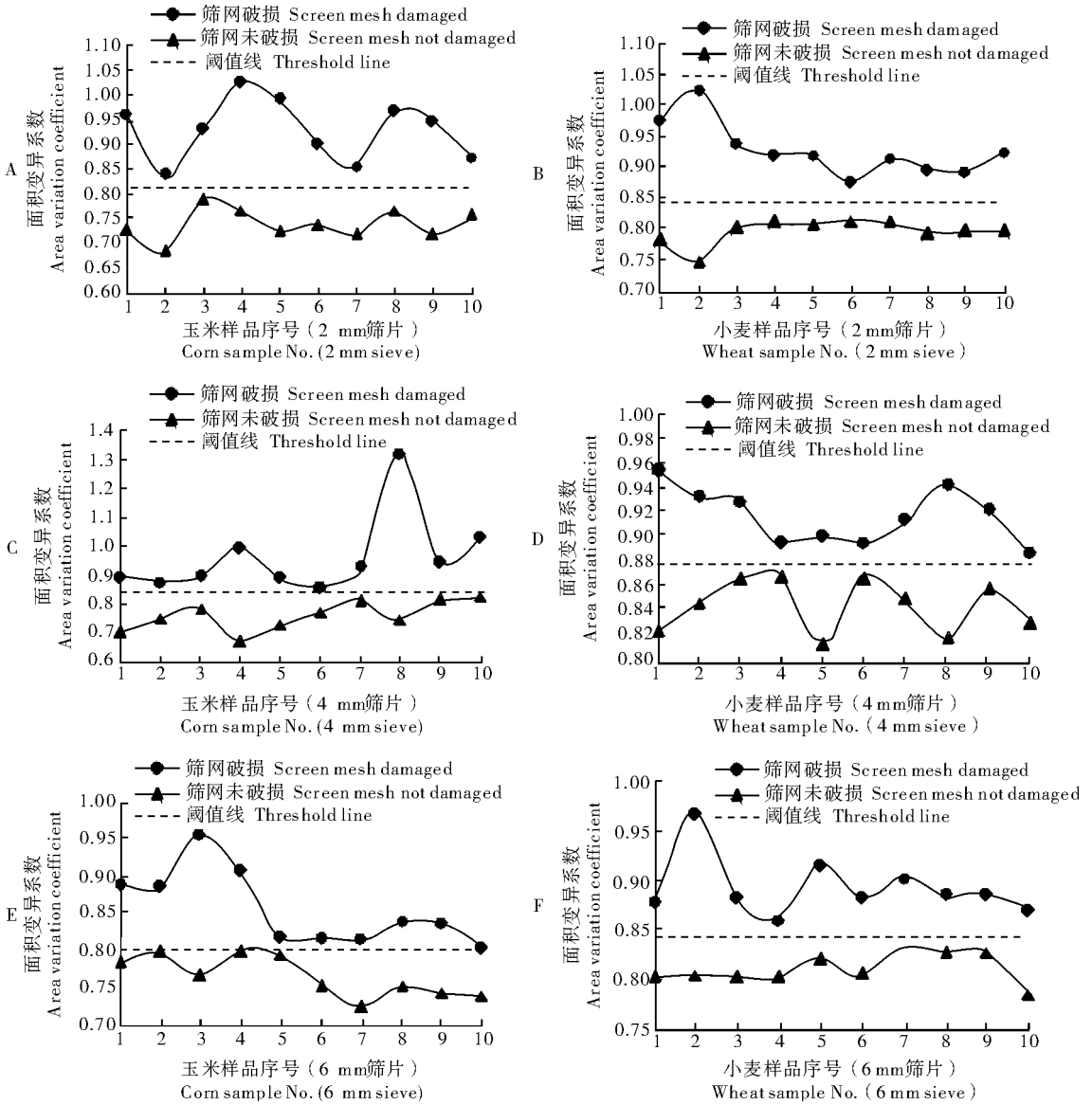


图 6 颗粒样本面积变异系数分布图与识别阈值线

Fig.6 The area variation coefficient of the particle sample detector figure and recognition threshold line

由图 6 可知,玉米和小麦粉碎后的颗粒在破损和未破损的条件下其颗粒面积变异系数有明显的差别。分别研究图 6A-F 中筛网破损与未破损的曲线,取筛网破损面积变异系数的最小值和筛网未破损面积变异系数的最大值的平均值作为阈值,使其对应 x 轴方向上的阈值线能够准确地将两曲线分

割开来。通过计算,筛网孔径为 2、4、6 mm 的破损筛网对应的玉米颗粒面积变异系数阈值分别为 0.81、0.84、0.80,小麦颗粒面积变异系数阈值分别为 0.84、0.87、0.84。

1.4 试验方法

为了验证所构建的识别系统的精度,以玉米和

小麦谷物原料为试验样本,采用锤片式粉碎机进行粉碎试验,以验证筛网破损识别系统的有效性和识别精度。采集玉米与小麦谷物原料作为试验样本,粉碎试验所采用的粉碎机筛网孔径分别为2、4、6 mm。选取玉米和小麦谷物样本,各取40份试验样本分别在孔径规格为2、4、6 mm的筛网条件下,分别进行筛网破损粉碎和筛网未破损粉碎试验。收集粉碎物料样本,在所建立的线阵扫描识别系统中提取粉碎物料样本图像,通过图像预处理,测定计算样本颗粒的平均面积及其变异系数,通过与设定的阈值比较,超过阈值则为破损,反之则为未破损。

2 结果与分析

通过对玉米和小麦粉碎样本的检测,以颗粒平均面积及其变异系数作为破损判定参数,对筛网破损识别精度进行验证。玉米和小麦检测识别结果见表1、表2。

从表1中可以看出,在筛网孔径分别为2、4、6 mm条件下,以颗粒平均面积为判别指标,粉碎玉米筛网破损平均识别率分别为91.25%、82.50%、96.25%;以颗粒面积变异系数为判别指标,粉碎玉米筛网破损平均识别率分别为93.75%、98.75%、

表1 玉米样本筛网破损识别结果

Table 1 The broken results identification by average area threshold of corn samples

筛网孔径/mm Mesh size	样本数 Number of samples	判别指标 Discriminant indicators	筛网类别 Screen category	识别结果 Recognition results		平均识别率/% Average recognition rate
				破损 Damaged	未破损 Not damaged	
2	40	S	D	37	3	91.25
			ND	4	36	
	40	CV	D	38	2	93.75
			ND	3	37	
4	40	S	D	34	6	82.50
			ND	8	32	
	40	CV	D	39	1	98.75
			ND	0	40	
6	40	S	D	37	3	96.25
			ND	0	40	
	40	CV	D	40	0	97.50
			ND	2	40	

注 Note: S:平均面积 Average area; CV:面积变异系数 Coefficient of variation of area; D:破损 Damaged; ND:未破损 Not damaged. 下同 The same as below.

表2 小麦样本筛网破损识别结果

Table 2 The broken results identification by average area threshold of wheat samples

筛网孔径/mm Mesh size	样本数 Number of samples	判别指标 Discriminant indicators	筛网类别 Screen category	识别结果 Recognition results		平均识别率/% Average recognition rate
				破损 Damaged	未破损 Not damaged	
2	40	S	D	40	0	93.75
			ND	5	35	
	40	CV	D	40	0	93.75
			ND	5	35	
4	40	S	D	29	11	86.25
			ND	0	40	
	40	CV	D	34	6	87.50
			UD	4	36	
6	40	S	D	36	4	78.75
			ND	13	27	
	40	CV	D	37	3	96.25
			ND	0	40	

97.50%。显然,以面积变异系数作为判定筛网破损的判别指标的识别效果明显好于平均面积的识别效

果。从表2中可以看出,在筛网孔径分别为2、4、6 mm条件下,以颗粒平均面积为判别指标,粉碎小

麦筛网破损平均识别率分别为 93.75%、86.25%、78.75%；以颗粒面积变异系数为判别指标，粉碎小麦筛网破损平均识别率分别为 93.75%、87.50%、96.25%。同样通过比较，以面积变异系数作为判定筛网破损的判别指标的识别效果明显好于平均面积的识别效果。

3 讨论

由于线阵相机在扫描过程中存在噪音、光强分布不均、颗粒之间粘结等现象，影响到提取参数的精度，因此，需要对所提取的原始图像进行预处理。由于在扫描成像过程中受到干扰，所获得的原始图像出现噪点，采用中值滤波器(median filter)进行滤波消除图像中的噪点^[15]；图像二值化的目的就是为将物料颗粒从输送带背景以及粉末中分割出来，所处理的灰度图像是由 0~255 等级的灰度像素组成的，采用局部阈值法(local threshold)，将图像分割成若干个区域，分别对每个区域进行阈值分割，从而得到二值化图像^[16]。由于颗粒数目较多，在图像中出现一些颗粒粘结的情况，采用“种子点法”先对二值化的图像进行距离变换，取最小值区域进行分水岭算法将粘结颗粒分割开来^[17]。同时，为了更为直观地观测图像中的大颗粒，对图像中的大颗粒进行高亮显示，通过确定面积阈值的方法，对小颗粒进行过滤(particle filter)，实现小颗粒保持不变而大颗粒被高亮。

为了分析粉碎颗粒物料特征，建立破损筛网颗粒物料识别方法，利用玉米和小麦 2 种谷物原料进行筛网破损预试验，用于观察分析破损筛网粉碎物料与未破损粉碎物料之间的特征。饲料经粉碎之后的颗粒样本中包含许多信息，筛网破损与未破损所产生的颗粒样本也是截然不同的。通过观察，与通过未破损筛网的颗粒样本相比较，破损筛网的颗粒样本粒径普遍偏大，样本中的粉体成分较少，这是由于筛网在发生破损之后开孔率增大，颗粒经过锤片的击打还未完全粉碎就已经通过破损的孔洞排出，因此，通过破损筛网的样本颗粒的平均面积较大，并且颗粒大小分布不均，这种现象会导致颗粒的面积大小分布比较离散，因此，面积变异系数相对也比较大。在测试过程中发现，在筛网孔径较大的条件下，粉碎颗粒中粉体含量越少，颗粒平均面积比较稳定，其变异系数较小；但在筛网发生破损并且破损程度不严重的情况下，部分较大颗粒在粉碎机内不能及

时排除，产生过度粉碎，导致粉碎颗粒平均面积在一个较大的范围内波动，从而影响系统的识别效果，所以对于颗粒的平均面积适用于筛网破损较严重的情况。

对于通过未破损筛网的样本，由于颗粒大小分布均匀，粉碎颗粒样本的面积变异系数比较稳定。在筛网发生破损的情况下，样本中必然会出现部分大颗粒，此时面积变异系数便会变大。另外，由于粉碎物料固有的物理特性，其积聚性、流动性、含水率等不同，穿过筛网孔的能力就不同，这也会影响识别效果。通过对玉米和小麦 2 种谷物原料的试验验证，都取得了良好的识别效果。

本研究采用线阵扫描和计算机视觉技术，构建了粉碎机筛网破损自动识别系统。系统通过动态扫描粉碎物料获得样本的图像，采用虚拟仪器开发平台 LabVIEW 开发的数据采集程序，实现实时图像分析与数据处理、根据样本颗粒信息破损筛网的识别。以所构建的自动识别系统为试验平台，以玉米和小麦粉碎谷物原料为试验材料，通过试验分析确定以粉碎物料颗粒的平均面积及其变异系数为判定指标，对该系统识别效果进行了试验验证。试验结果表明，所构建的自动识别系统可以实现对粉碎机破损筛网的实时识别，以面积变异系数作为判定筛网破损的判别指标的识别效果优于平均面积的识别效果。为粉碎机筛网破损在线识别提供了一种新的思路与方法。该系统目前自动化水平仍然不够高，各个功能模块的串联实现还需要借助人工作业，下一步的研究要加入自动化控制机构，使其能够全自动运行。

参 考 文 献

- [1] 王与,王顺喜.饲料粉碎机发展现状分析[J].粮食与饲料工业,2007(10):29-32.
- [2] 夏雄,张衍林,刘杰,等.小型树枝粉碎机关键部分的设计[J].华中农业大学学报,2015,34(1):142-147.
- [3] 蒋胜旺,姜灏.粉碎机常见故障及处理对策分析[J].科技致富向导,2013(9):14.
- [4] 宿坤根,程国华.关于粉碎机锤片和筛网的寿命问题[J].饲料工业,1987(6):32-34.
- [5] 徐永会.粉碎机常见故障及解决方法[J].饲料工业,2009,30(1):7-8.
- [6] 陈娟.锤片式饲料粉碎机的使用与安全技术[J].青海农技推广,2013(1):62-64.
- [7] 李军国,秦玉昌,吕小文,等.全价饲料品质保证技术[J].饲料

- 工业,2005,26(17):1-6.
- [8] 周佳璐.基于机器视觉的小麦质量判别系统的研究[D].上海:同济大学,2006.
- [9] 陈红,夏青,左婷,等.破损花菇机器视觉检测技术[J].农业机械学报,2014,45(11):60-67.
- [10] 应义斌,景寒松,马俊福,等.机器视觉技术在黄花梨尺寸和果面缺陷检测中的应用[J].农业工程学报,1999(1):203-206.
- [11] 袁金丽.计算机视觉在苹果外部品质检测与分级方面的应用研究[D].北京:中国农业大学,2005.
- [12] 吴彦红,刘木华,杨君,等.基于计算机视觉的大米外观品质检测[J].农业机械学报,2007,38(7):107-111.
- [13] 李平平.基于机器视觉猕猴桃自动分级方法的基础研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [14] 曹康.饲料质量控制欲加工工艺—现代水产饲料加工质量控制要点与加工工艺发展趋势[J].饲料工业,2014,35(1):9-16.
- [15] NAVON E, MILLER O, AVERBUCH A. Color image segmentation based on adaptive local thresholds[J]. Image & vision computing, 2005, 23(1): 69-85.
- [16] VIJAYKUMAR V R, MARI G S, EBENEZER D. Fast switching based median-mean filter for high density salt and pepper noise removal[J]. AEU-International journal of electronics and communications, 2014, 68(12): 1145-1155.
- [17] 曾珽.矿石粘连颗粒检测与分割算法研究[D].赣州:江西理工大学,2012.

Design and implementation of automatic identification system of scanning crusher screen breakage line

HE Chong LIU Meiyong WU Huizi NIU Zhiyou

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract A dynamic scanning detection device combining with the the linear optical image acquisition, the synchronous belt transmission technology and the crusher screen breakage recognition system based on virtual instrument development platform LabVIEW was developed to figure out a rapid and automatic identification method of screening crusher based on characteristics of pulverized material particles. Two kinds of corn and wheat grain were used to verify the effectiveness of the system. Using the average area of a particle as judging index, the average recognition rate of crushed corn screen breakage under the screen pore sizes of 2, 4 and 6 mm was 91.25%, 82.50% and 96.25%, crushed wheat screen breakage average recognition rate was 93.75%, 86.25%, and 78.75%, respectively. Using coefficient of variation in particle area as judging index, average recognition rate of crushed corn under the screen pore sizes of 2, 4 and 6 mm was 93.75%, 98.75% and 97.50%, respectively. The average recognition rate of crushed wheat screen breakage was 93.75%, 87.50% and 96.25%, respectively. The results showed that the effect of using the coefficient of area variation as judging index of distinguishing screen breakage recognition was better than that of the average area. The automatic identification system developed can real-time identify grinder broken and screen automatically.

Keywords crusher; screen mesh; damage recognition rate; image processing; average area; coefficient of variation

(责任编辑:陆文昌)