

基于声学特性的禽蛋裂纹实时在线检测系统*

孙力¹ 蔡健荣¹ 林颢¹ 赵杰文¹ 方根根²

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

【摘要】 设计了一套基于数字信号处理器 DSP(TMS320F2812)的禽蛋裂纹在线检测系统,系统以禽蛋声学特性为基础,通过采集并分析敲击禽蛋产生的响应信号,可实现禽蛋裂纹的在线、实时检测。根据大量完好和裂纹禽蛋敲击响应信号特征的差异,提取了5个特征参数,建立相应判别模型,快速检测裂纹禽蛋。系统对75个完好和95个裂纹鸡蛋进行了在线检测试验,判对率分别为92.0%和90.5%,检测速率为5个/s,满足在线检测的要求。

关键词: 禽蛋 裂纹 声学特性 数字信号处理 在线检测

中图分类号: TP391.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)05-0183-04

On-line Detection of Cracked Shell Eggs Based on Acoustic Resonance Analysis

Sun Li¹ Cai Jianrong¹ Lin Hao¹ Zhao Jiewen¹ Fang Gen'gen²

(1. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

An on-line system based on acoustic resonance combined digital signal processing (DSP) system was developed for eggshell crack detection. It was achieved by analysis of measured frequency response of eggshell excited with a light mechanical force. Based on previous experiments, differences between the signals of intact eggs and cracked eggs were analyzed. Five excitation resonant frequency characteristics of eggs were used as input vectors of identification model to discriminate intact and crack eggs. The identification results were transmitted to host computer. The system was employed for on-line detection of cracked eggs, identification rates of intact eggs and cracked eggs were 92.0% and 90.5%, respectively. This system can detect 5 eggs within one second. It completely meets the need of on-line detection.

Key words Eggs, Crack, Acoustical property, Digital signal processing, On-line detection

引言

近年来,国内许多蛋制品生产环节逐步实现了自动化,但禽蛋裂纹检测仍是以手工检测为主。当蛋壳出现裂纹时,蛋壳刚度和阻尼系数将随之变化,这种变化会反映到其振动的传播上。通常,裂纹禽蛋受冲击发出的声音沙哑、沉闷,完好禽蛋则发声清脆^[1-2]。国内外学者利用敲击振动响应的音频信号差异,研究了基于声学特性的禽蛋裂纹检测方法 & 装置。Cho 等应用声学响应系统,进行蛋壳裂纹检

测试验,采用多元线性回归分析模型鉴别裂纹蛋^[3];Kerelaere 等利用声学脉冲和共振特征频率特性检测蛋壳的裂纹^[4];潘磊庆等利用声级计采集敲击的声音信号,对整批鸡蛋的分级准确率达到 87%^[5];王树才等通过鸭蛋的敲击声音,利用模糊识别法鉴别正常蛋、破损蛋、钢壳蛋、尖嘴蛋,整批鸭蛋的识别准确率为 91.5%^[6];姜瑞涉等采用主频率值、归一化功率谱平均值等特征检测禽蛋裂纹^[7];林颢等通过对鸡蛋的敲击响应信号分析,并对信号进行了自适应滤波,应用支持向量机算法建立模型,

收稿日期:2010-08-01 修回日期:2010-10-11

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11A12)

作者简介:孙力,博士生,主要从事信号处理及农产品无损检测研究,E-mail:sunli19861115@126.com

通讯作者:蔡健荣,教授,博士生导师,主要从事食品与农产品无损检测研究,E-mail:jrcai@ujs.edu.cn

整批鸡蛋预测集和校验集的准确率分别为 97.1% 和 95.1% [8]。以上研究结果表明,利用禽蛋的声学特性可以有效地检测禽蛋裂纹,但这些研究成果所搭建的试验装置均未充分考虑在线检测实际情况。基于前人的成果,本文开发一套基于 DSP (TMS320F2812) 开发板的禽蛋裂纹声学在线检测系统,研制可调速输送线,并优化相关硬件参数和软件系统,以得到有效的检测信号,使之满足在线检测的要求。

1 禽蛋裂纹在线检测系统设计

构建了基于声学的蛋壳裂纹在线检测系统,通过采集和分析禽蛋敲击产生的响应信号,实现禽蛋裂纹的分析与检测。禽蛋蛋壳裂纹在线检测系统(图 1)由禽蛋支撑部件、自动敲击部件、敲击响应信号调理电路以及信号采集与处理部件 4 部分组成。图 1 所示单片机的作用是根据红外触发信号控制电磁铁敲击禽蛋;信号调理电路的作用是滤除环境噪声,并将电压放大至 1.5 ~ 2.5 V; DSP (TMS320F2812) 的作用是采集与处理敲击响应信号,并分析信号、作出判别;主计算机作用是统计各模块的检测结果。

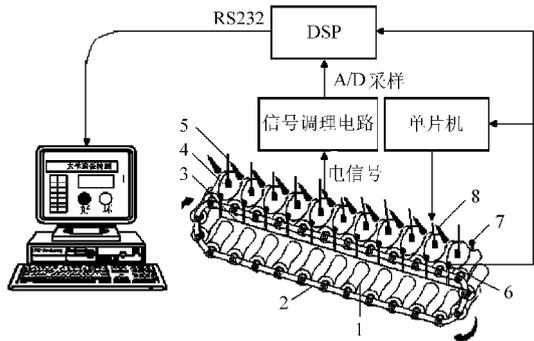


图 1 禽蛋蛋壳裂纹在线检测示意图

Fig. 1 Schematic of on-line system for eggshell crack detection

- 1. 支撑滚轮 2. 链条 3. 工程塑料平台 4. 禽蛋 5. 敲击棒
- 6. 红外接收器 7. 红外发射器 8. 声学传感器

禽蛋的支撑部件由一排工业尼龙滚轮组成,支撑滚轮由链条串接成封闭的滚动链,每个支撑滚轮与链条相接,禽蛋位于两个支撑滚轮之间,链条由调速电动机驱动。当支撑滚轮转到上方时,前行过程中与支架上工程塑料平台发生摩擦产生自转,滚动轮形状是根据禽蛋的投影轮廓设计,避免禽蛋受力滚动时产生跳动。生产线支架上有多个敲击点,当禽蛋通过敲击点时,触发顺序排列的敲击点,实现自动敲击检测,禽蛋经过敲击轨道的速率为 5 个/s。

敲击的触发由一对红外发射器(红外光频率为

38 kHz)和红外接收器完成。当接收器接收到红外信号时,输出低电平(0 V),当有禽蛋通过时,挡住发射器的红外光,接收器信号中断,产生高电平(5 V),单片机检测到接收器产生高电平时进入中断程序,通过 I/O 口输出电平信号至电动机驱动电路,驱动电动机上的敲击棒执行敲击命令,实现受检鸡蛋的自动敲击。为了防止电路驱动电动机重复敲击,敲击棒执行一次敲击命令后,通过软件将电动机使能位置 0,直至单片机检测到接收器产生低电平时,再将电动机使能位置 1。为了适应不同类型、不同大小的禽蛋,敲击装置的敲击力度可调,通过改变驱动电路中输出电流值以达到改变敲击力度的目的。

为节省硬件资源、减少存储空间,设计采用了红外触发方式启动 DSP,无禽蛋通过时 DSP 处于休眠状态。禽蛋蛋壳受到敲击后发出的音频信号由声学传感器采集并将其转换为电信号,通过调理电路对信号进行放大、滤波去噪,通过巴特沃斯带通滤波器将信号频率 2 000 ~ 7 000 Hz 设为通带,并应用放大电路将电信号调理到 1.5 ~ 2.5 V 之间,由 DSP 自带的 A/D 转换器将模拟信号转换为数字信号,采样频率设置为 38 kHz,采样点数为 512 点。在 DSP 软件系统中设置阈值触发,当信号被判断为禽蛋敲击响应信号后,才开始对采集的信号进行存储并处理,并对采集信号进行快速傅里叶变换(FFT),将信号转换到频域处理。当禽蛋被判为裂纹蛋时,触发对应敲击点处的发光二极管亮(通知后续执行部件)。从信号进入 DSP 开始到信号处理结束总共用时不足 100 ms,完全满足检测速度。DSP 整个禽蛋裂纹检测系统流程如图 2 所示。经过 DSP 信号分析后的结果同样可通过串口传输到主机上,相应的检测结果通过 VC++ 界面程序显示。

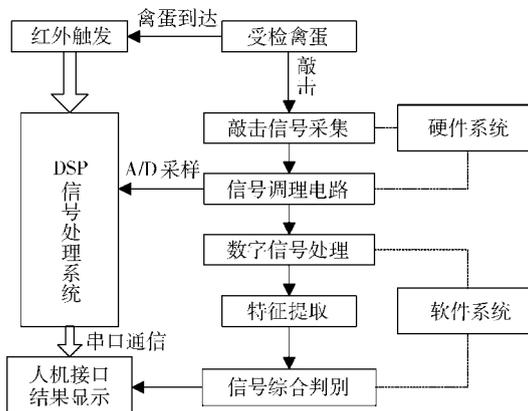


图 2 禽蛋裂纹在线检测系统流程

Fig. 2 Eggshell crack detection system based on acoustic resonance analysis

2 禽蛋信号采集与处理

2.1 禽蛋信号采集

将禽蛋水平放置于生产线,随着传送带的滚动前进,在到达敲击点时,敲击装置自动敲击,产生的敲击响应信号经过声学传感器转换成电信号,通过对信号的放大滤波后,DSP对信号进行采样。图3所示为完好鸡蛋和裂纹鸡蛋敲击响应的时域信号。因为敲击十分轻快,相当于给鸡蛋一个尖脉冲信号 $\delta(t)$,完好和裂纹鸡蛋的时域图比较相似,难以区分。研究通过FFT将鸡蛋敲击响应信号从时域空间转化到频域空间,以期在频域空间中搜索两类鸡蛋的信息差异。

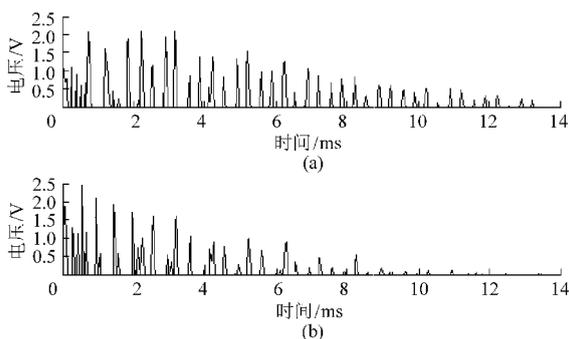


图3 鸡蛋敲击响应的时域信号

Fig. 3 Typical response time signals of eggs

(a) 完好鸡蛋 (b) 裂纹鸡蛋

2.2 禽蛋特征参数提取

通过大量的完好和裂纹蛋敲击试验,观察响应信号功率谱的差异,发现完好蛋敲击信号的功率谱共振峰(各频率分量的能量密度最大点)比较突出,共振峰的幅值明显高于其他频率下的功率谱幅值;而裂纹禽蛋的功率谱有较多的共振峰,共振峰与完好蛋相比较弱。其原因可能是裂纹禽蛋的结构刚度遭受破坏,在裂纹处阻尼系数增大,导致振动传播受阻,其功率谱有较多混杂的共振峰。由于完好蛋功率谱有突出共振峰,因此其前几个共振峰之间的差异较大,而裂纹蛋共振峰之间的差异相对较小。完好蛋的共振峰与前后频段的方差通常较裂纹蛋大,完好蛋和裂纹蛋敲击信号功率谱图如图4所示。根据以上分析得到的完好和裂纹禽蛋敲击响应信号差异,选取了5个特征参数识别禽蛋裂纹,如表1所示。

2.3 禽蛋判别模型建立

以选取的特征参数作为输入变量来判别完好和裂纹禽蛋。由于在线检测速度快,要求判别模型在保证识别精度的条件下,计算越简洁越好。根据完好和裂纹只需判别是非的逻辑式判别特点,设置了逻辑式的判别模型,即判别系统每处理一个受检禽

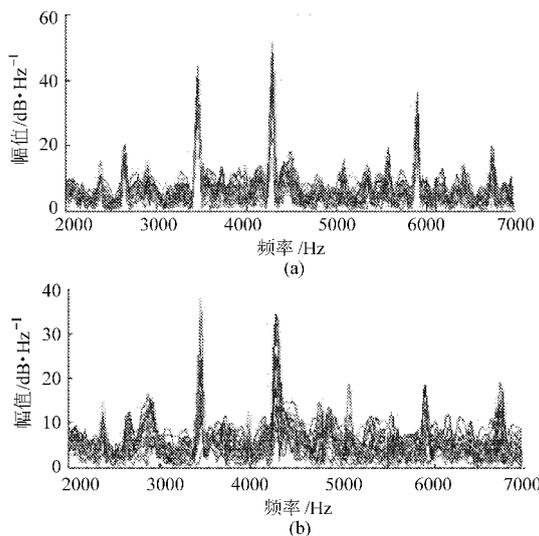


图4 鸡蛋敲击响应的频域信号

Fig. 4 Frequency response signals of eggs

(a) 完好鸡蛋 (b) 裂纹鸡蛋

蛋的信号,提取5个特征参数,采用投票法决定禽蛋是否为完好蛋。以一个受测完好禽蛋为例(表2),其特征参数 V_1 、 V_3 、 V_4 、 V_5 均满足完好禽蛋的条件,而参数 V_2 被判断为裂纹禽蛋的特征,完好禽蛋总得分为4,而裂纹禽蛋总得分为1,该禽蛋为完好禽蛋。

表1 特征参数及其计算公式

Tab.1 Characteristics and the formula

变量	特征参数	计算公式
V_1	功率谱最大值 M	$M = \max(P_i)$
V_2	功率谱面积 A	$A = \sum_{i=0}^{512} P_i$
V_3	功率谱标准差 σ	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n P_i^2 - n(\bar{P}_i)^2}{n-1}}$
V_4	第一共振峰对应的频段 f_1	$f_1 = \text{index}_{\max}(P_i)$
V_5	前3个共振峰功率谱方差 D	$D = \max_{1,3}(P_i)/3$

表2 完好和裂纹禽蛋逻辑式识别模型结果

Tab.2 Identification results of cracked and intact eggs

类别	特征信号					总得分
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	
完好	1	0	1	1	1	4
裂纹	0	1	0	0	0	1

3 禽蛋裂纹在线检测试验

3.1 在线检测敲击次数的确定

基于声学特性的禽蛋裂纹检测,是利用禽蛋在裂纹处的声阻抗与固有频率的变化为依据,但裂纹禽蛋完好部位的阻尼系数变化较小,检测过程中,敲击点位置极为关键,一般离蛋壳裂纹部位越近越容

易检测。因此,在禽蛋裂纹在线检测中,需通过对滚动的禽蛋多次敲击才能保证至少有一次敲击在禽蛋裂纹区域附近,检测裂纹禽蛋。为保证裂纹禽蛋检测准确率条件下,尽可能减少敲击的次数,提高效率,设计中对54个随机制造微裂纹的鸡蛋进行在线反复敲击,以确定合适的敲击次数。所采集的鸡蛋频率为2 000~7 000 Hz。在DSP信号处理系统中,对每个受测鸡蛋进行特征参数提取,并根据所建立的模型进行判别。图5为每个裂纹蛋被检测出所需要敲击的次数。由图5可看出,最多需要19次敲击,所有裂纹鸡蛋都能检出,考虑到生产过程中鸡蛋裂纹远比人工制造的微裂纹大,因此当敲击次数为19次时,完全满足实际需要。

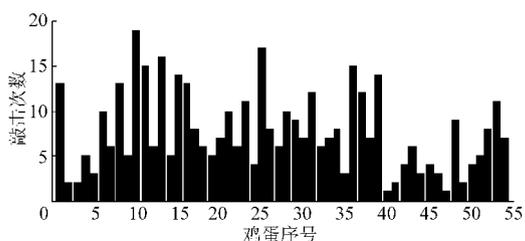


图5 鸡蛋裂纹能够识别的敲击次数

Fig. 5 Numbers of detection of eggs cracks

3.2 在线检测试验及结果分析

试验材料为江苏镇江农场产后1~2 d,经人工

肉眼仔细检查、挑选的大小较为一致的完好鸡蛋75个,人为制造95个裂纹鸡蛋^[1,9~10](经过对养鸡场及超市的裂纹蛋统计,鸡蛋裂纹均可见,破损面积大。因此,试验中采用了人为制造肉眼难于辨认细微裂纹以验证模型可靠性)作为试验样本。得到的鸡蛋判别结果如表3所示。从表3可以看出,设计的鸡蛋裂纹检测系统对裂纹蛋有较高的检测率,其中裂纹蛋判对率为90.5%。

表3 完好和裂纹鸡蛋在线判别结果

Tab. 3 Identification results of intact and cracked eggs from on-line experiments

类型	样本数	正确	错误	判对率/%
完好	75	69	6	92.0
裂纹	95	86	9	90.5

4 结束语

设计了一套基于TMS320F2812的禽蛋裂纹声学检测系统,可自动实现禽蛋敲击、响应信号采集处理及裂纹蛋识别,检测速度可达5个/s。通过对功率谱的分析,建立了相应的判别模型,判对率达90%以上。因此该系统可以实现禽蛋裂纹的快速在线检测,识别正确率较高。

参 考 文 献

- De Ketelaere B, Coucke P, De Baerdmaeker J. Eggshell crack detection based on acoustic resonance frequency analysis [J]. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 2000, 76(2): 157~163.
- Jindal V K, Sritham E. Detecting eggshell cracks by acoustic impulse response and artificial neural networks [C]//2003 ASAE Annual Meeting. Paper No. 036170, 2003.
- Cho H K, Choi W K, Paek J K. Detection of surface in shell eggs by acoustic impulse method [J]. *Transactions of ASAE*, 2000, 43(6): 1921~1926.
- Kemps B, De Kerelaere B, Bamelis F, et al. Development of a methodology for the calculation of young's modulus of eggshell using vibration measurements [J]. *Biosystems Engineering*, 2004, 89(2): 215~221.
- 潘磊庆,屠康,赵立,等. 敲击振动检测鸡蛋裂纹的初步研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(4):11~15. Pan Leiqing, Tu Kang, Zhao Li, et al. Preliminary research of chicken egg crack detection based on acoustic analysis [J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(4):11~15. (in Chinese)
- 王树才,任奕林,陈红,等. 利用敲击声音信号进行禽蛋破损和模糊识别[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(4):130~133. Wang Shucui, Ren Yilin, Chen Hong, et al. Detection of cracked-shell eggs using acoustic signal and fuzzy recognition [J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(4):130~133. (in Chinese)
- 姜瑞涉,王俊,陆秋君,等. 鸡蛋敲击响应特性与蛋壳裂纹检测[J]. *农业机械学报*, 2005, 36(3):75~78. Jiang Ruishe, Wang Jun, Lu Qiuqun, et al. Eggshell crack detection by frequency analysis of dynamic resonance [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2005, 36(3):75~78. (in Chinese)
- 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(1): 95~100.
- Deng Xiaoyan, Wang Qiaohua, Chen Hong, et al. Eggshell crack detection using a wavelet-based support vector machine [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010, 70(1): 135~143.
- Zhao Yu, Wang Jun, Lu Qinqun, et al. Pattern recognition of eggshell crack using PCA and LDA [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2010, 11(3): 520~525.