

基于撞击声分析的榛壳开口判别

Discriminating intact and crack hazelnuts using impact sound analysis

刘斌 吴雪 王雅菲 黄志刚

LIU Bin WU Xue WANG Ya-fei HUANG Zhi-gang

(北京工商大学材料与机械工程学院, 北京 100048)

(College of Material and Mechanical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

摘要: 撞击声分析是新型的坚果品级检测方法。为了研究开、闭口榛果的撞击声特性,通过不同的数据处理方法提取声信号的梯度累积特征、线性频谱特征和梅尔倒谱系数(MFCC)特征参数。研究结果显示:撞击声信号的累积梯度特征参数计算方便,阈值判断简单易行,识别精度可达 80% 左右;撞击声信号的线性频谱特征明显,闭口榛果撞击声能量集中在 5~8 kHz 频段内,开口榛果撞击声能量趋于全频段内分散,较难寻找固定的频率特征参数;开闭、口榛果的辨识不能直接采用撞击声信号的 MFCC 特征参数,需要引入特定统计模型或应用人工神经网络,对特征参数进行训练,进而实现开闭、口榛果的模型识别。

关键词: 撞击声; 梯度累积; 频谱; 梅尔倒谱系数; 榛果

Abstract: Impacting sound analysis is a new method for nuts grading and detection. The acoustic characteristic of the intact and crack hazelnuts is presented in this paper. The gradient accumulation, frequency spectrum and mel-frequency cepstral coefficients (MFCC) were extracted from the impacting sound signals. The results showed that the gradient accumulation parameter was easily calculated, and the accuracy of discriminating crack hazelnuts was about 80%. For frequency spectrum analysis, the spectral distribution of the intact hazelnuts sound concentrates was in 5~8 kHz and that of the crack hazelnuts tends to disperse in wide frequency range. It is difficult to choose the special detection spectrum. The MFCC parameters cannot be used directly. For detection or grading, it should be combined with the statistical models or artificial neural network.

Keywords: acoustic; gradient accumulation; frequency spectrum; MFCC; hazelnuts

仁口味好,营养丰富,富含脂肪酸、蛋白质和维生素 A、B、E 以及铁、钙等矿物质元素^[1]。榛壳质地坚硬,加工过程中通常促使榛壳表面出现裂缝,以方便食用。为提高产品品质的一致性,闭口榛子理应作为等外品被拣出。

应用声学技术对产品进行分级检测是近年发展的新技术,在产品生产、储存、加工等环节的综合应用成为国内外学者关注和研究的热点课题,在一些发达国家,声学检测技术的研究已经进入实际应用阶段,成功应用于开心果、小麦、杏仁等的品级检测。Pearson^[2]提出应用撞击声信号的时频特性检测开心果的开、闭口状态;Cetin 等^[3]应用主成分分析方法处理开、闭口状态开心果的撞击声信号;Pearson 等^[4]对小麦撞击声信号经过不同的数据处理方法,用来辨识小麦的虫害、发芽和带痂等;Mahmoud^[5]研究的开心果自动分拣系统应用了主成分分析并结合人工神经网络方法;Adel Hosainpour 等^[6]对马铃薯的撞击声信号经过人工神经网络处理,用来剔除夹杂的土块;J. Buerano 等^[7]对稻谷的撞击装置和声信号采集系统进行优化,用于损伤稻谷的剔除检测。中国研究者也在食品声学检测方面进行了大量研究工作,吴雪^[8]应用声振分析方法进行了鸡蛋裂纹损伤检测;臧富瑶等^[9]应用撞击声检测法进行开心果开、闭口分拣。已有研究多采用传统声、振测试分析方法,研究偏重于本体声信号采集、分析和处理,所采用数据处理方法不尽相同,损伤阈值判断及检测结果分析上也存在显著差异。从声音特征识别的角度来看,损伤(或未损伤)结构的的声音特征可作为一种统计特征进行定义区分。本试验拟研究榛子撞击钢板的碰撞声特性差异,以声信号频域谱分析为基础,引入语音识别的统计分析、MFCC 能量特征法,获取榛子开、闭口状态的撞击声信号特征识别信息,探讨语音识别技术在食品声学检测中的应用,为改进和创新榛子品级检测提供技术参考。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

市场选购熟制榛子,经人工择选开口长度大于 10 mm

榛子是重要的坚果品种,在中国许多地区广泛分布。榛

基金项目: 北京市教委科研计划一般项目(编号: SQKM201610011002)

作者简介: 刘斌(1974—),男,北京工商大学副教授。

E-mail: liubin@th. btbu. edu. cn

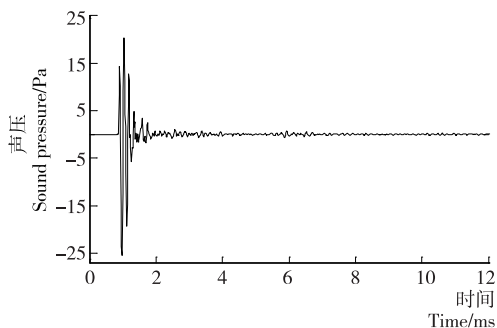
收稿日期: 2015-07-25

的开口榛子和闭口榛子,统一编号,用于无损检测分析。

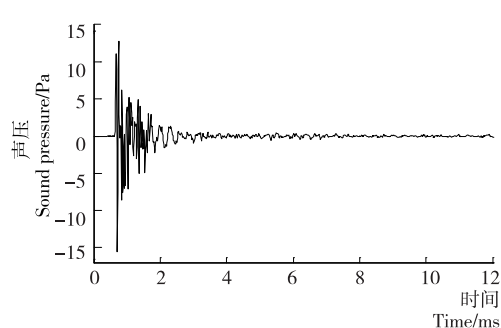
1.1.2 碰撞声检测系统

碰撞声检测系统由进料斜槽、撞击钢板 150 mm × 100 mm × 10 mm(厚)、传声器、动态测试与信号分析系统和计算机等组成。榛子从 45°斜槽滑落至撞击钢板上,榛子下落的垂直高度为 400 mm。榛子撞击声测量选用 BK4189 系列传声器(丹麦 B&K 声学 and 振动测量公司),灵敏度 50 mV/Pa,频响范围 6.3~20 kHz。动态信号采集前端应用 BK3560B 型动态信号测试分析仪(丹麦 B&K 声学 and 振动测量公司),最高采样频率 65 kHz,有 4 个实时同步输入端口和 1 个信号输出口,通过网线与计算机连接。测试系统框图见图 1。

不同编号的开、闭口榛子撞击声信号由 BK3560B 型动态信号测试仪采集,送入计算机的 PULSE 软件进行数据记录整理,数据处理和分析采用 Matlab 软件。图 2 是采集到的开、闭口榛子与钢板撞击瞬间的声压信号时域图,通过比较



(a) 闭口榛子



(b) 开口榛子

图 2 榛子撞击声信号时域图

Figure 2 Impact sound signals of hazelnuts

1.2 方法

1.2.1 梯度累积特征分析 梯度累积参数的计算方法:

如果 $x[n]$ 代表信号, x_m 代表 x 的无量纲化值,按式(1)计算:

$$x_m[n] = x[n] / \max(|x|) \quad (1)$$

信号梯度值 $g[n]$ 按式(2)计算:

$$g[n] = |x_m[n-1] - x_m[n+1]| \quad (2)$$

利用式(2)可以获得信号的梯度值 $g[n]$ 。鉴于大多数信号梯度值不超过 0.5,可将梯度信号设定为 0.5 阈值范围内^[10],并将其作为矢量特征参数用于榛果的裂纹检测。将式(2)获得的梯度 $g[n]$ 与阈值 0.5 作比较,见式(3)。

$$g_c[n] = \min(g[n], 0.5) \quad (3)$$

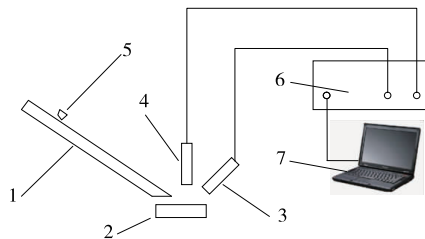
利用式(3)获得的 $g_c[n]$ 可以做出直方图 $h[n]$,该直方图的柱高范围在 0 至 0.5 之间。将直方图 $h[n]$ 作累积运算即可获得累积梯度直方图 $b[k]$,见式(4)。

$$b[k] = \sum_{j=0}^k h[j] \quad (4)$$

利用式(4)获得的结果 $b[k]$ 作为最终的特征识别参数,即可用于系统的检测分级。

1.2.2 频谱特征分析 频谱分析是信号特征分析最常用的方法之一。频谱分析时,定义 $X[k]$ 为时间序列 $x[n]$ 的 N 点离散傅里叶变换(discrete fourier transform, DFT),将采集所得的撞击声信号的时间序列 $x[n]$ 进行快速傅里叶变换,获得信号的频谱特性。

分析发现,在时域上开、闭口榛子的撞击声信号的变化趋势无明显差异。因此,需要对时域信号进行数据处理,根据下述 1.2 所述计算声信号的梯度累积特征、线性频谱特征和梅尔倒谱系数特征参数等。



1. 斜槽 2. 撞击钢板 3. 传声器 4. 光电传感器 5. 榛子
6. BK 动态信号测试分析仪 7. 计算机

图 1 检测系统框图

Figure 1 Schematic diagram of detection system

1.2.3 梅尔倒谱系数(MFCC)特征分析 梅尔倒谱系数(mel-frequency cepstral coefficients, MFCC)特征从本质上讲相当于各频带的能量特征,广泛应用于语音识别,现在已经成为标准的语音信号特征量的标准提取方法,在声信号检测方面有相关的应用^[11]。

MFCC 方法的参数提取流程:首先对时域信号分帧,用汉明窗函数分帧处理,每帧长度 512,帧移 128;然后对每一帧时域信号进行离散傅里叶变换,再取模平方,得到离散功率谱;采用以 mel 刻度分布的 24 个三角滤波器组做卷积,取对数,进行离散余弦变化,得到 1~12 阶 MFCC 参数。Mel 三角滤波器的作用是同人耳听觉特性相似的三角滤波器组对语音信号的离散功率谱进行平滑处理;离散余弦变换主要用来对不同频段的频谱成分进行解相关处理,使各向量之间相互独立。为了将非平稳信号的特征表示得更为全面,可将差分参数引入 MFCC,并将 12 阶 MFCC 及其一阶差分参数共 24 阶进行合并分析,共同作为信号的特征参数用于系统检测。MFCC 的流程见图 3。

2 结果与分析

2.1 梯度累积特征分析

处理检测系统采集到的开、闭口榛子撞击声信号,选取

信号长度 2 560 点,采样频率 65 kHz,则采样时长 39 ms。按照 1.2.1 的信号处理方法,分别对信号幅值进行无量纲归一化、转化成幅值梯度、计算幅值梯度的逐点累积,最终的梯度累积结果作为特征参数 B 。开、闭口状态不同的榛子撞击声信号幅值梯度累积如图 4 所示,若以 30 作为特征参数 B 的阈值,绝大多数开口榛子的特征参数 B 超过 30,开口榛子试样“开 1~5”的逐点梯度累积曲线,也存在特殊情况,试样“开 6”的声压信号幅值最终梯度累积即特征参数 B 仅有 23.4 (低于 30);绝大多数闭口榛子的特征参数 B 低于 30,闭口榛子试样“闭 2~6”的逐点梯度累积曲线,依然存在特殊情况,试样“闭 1”的特征参数 B 为 30.52(超过 30)。对所有试验榛子撞击声信号的最终梯度累积即特征参数 B 进行阈值判别,大于 30 判为开口榛子,小于 30 判为闭口榛子,则开口榛子的正确识别率为 77%,闭口榛子的正确识别率为 86%。

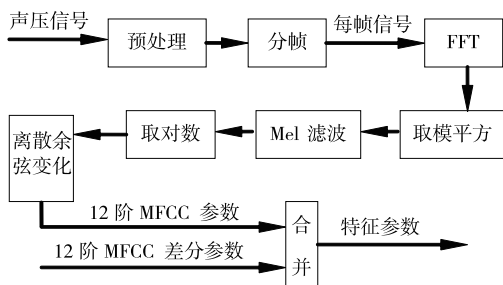


图 3 MFCC 特征参数提取框图

Figure 3 Diagram of MFCC parameters extraction

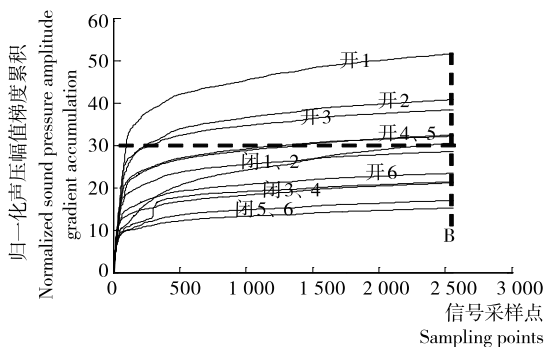


图 4 归一化声压幅值梯度逐点累积图

Figure 4 Accumulation of normalized sound pressure gradient

2.2 线性频谱分析

利用 1.2.2 所述方法对时域撞击声信号进行快速傅里叶变换。闭口榛子的钢板撞击声的频谱分析如图 5 所示,其声压能量主要集中在 5~8 kHz,振动能量相对集中。开口榛子试样“开 3、开 4”的撞击声频谱图如图 6 所示,声压能量有所分散,且相对于闭口榛子撞击声频谱频率区间(5~8 kHz)振动能量显著下降,而在 11, 15, 17 kHz(18 kHz 或 19 kHz)附近能量有所增加。尽管频域信息较好地反映了开口榛子和闭口榛子的撞击声特性差异,然而,大量频谱分析结果表明,随着果形的微小差异和开口长度与方向变化,很难以固定频率的声压能量差异来区分榛子开、闭口状态。若以全部频谱能量特征直接进行统计模型训练,这样数据量庞

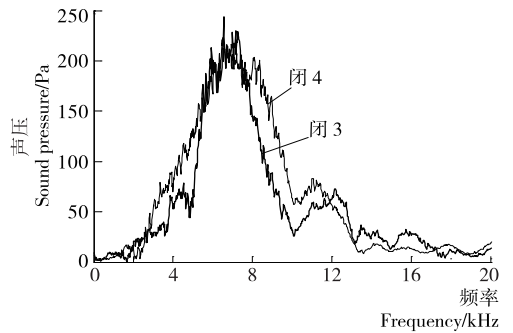


图 5 闭口榛子撞击声的频谱图

Figure 5 Sound spectrum of intact hazelnuts

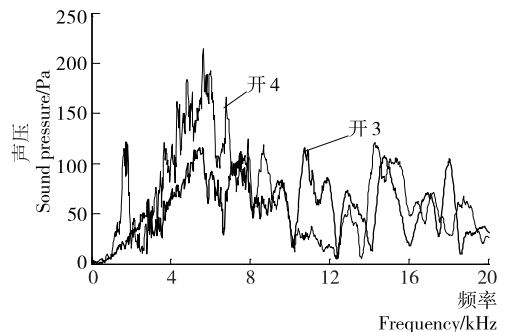


图 6 开口榛子撞击声的频谱图

Figure 6 Impact sound spectrum of crack hazelnuts

大,检测效率将会降低。为消除不相关的成分,借鉴语音信号处理方法,需要对频谱进行特征参数提取。

2.3 MFCC 特征参数分析

按照 1.2.3 的方法对开、闭口榛子的撞击声信号频谱数据提取 MFCC 特征参数。闭口榛子试样“闭 4”的 24 阶 MFCC 参数见图 7,开口榛子试样“开 3”的 24 阶 MFCC 参数见图 8。MFCC 特征参数压缩了频谱数据,榛子开、闭口状态的 MFCC 特征值差异主要体现在前 6 帧数据的 3~24 阶参数,但仍不能直观地反映开、闭口榛子的撞击声特性差异。需要更深入的数据处理,可以采用特定统计模型如隐马尔可夫模型^[12]或是应用神经网络^[13-14],进行数据训练和模型识别,这些工作将在后续的研究中展开。

3 结论

本试验研究开、闭口榛子撞击声特性差异,应用撞击声信号的累积梯度特征、频谱特征和 MFCC 特征区分榛子的开、闭口状态。撞击声信号的累积梯度特征计算方便,阈值判

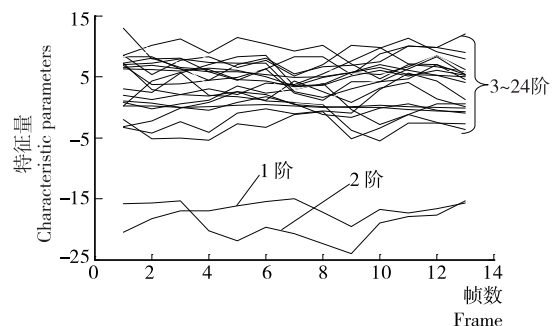


图 7 闭口榛子撞击声的 MFCC 特征参数

Figure 7 MFCC parameters of intact hazelnuts

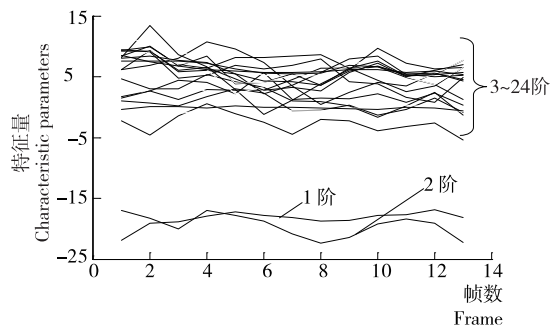


图8 开口榛子撞击声的MFCC特征参数

Figure 8 MFCC parameters of crack hazelnuts

断简单易行,识别率可达80%左右,但识别精度有待于进一步提高;撞击声信号的频谱特征明显,闭口榛子撞击声能量集中在5~8 kHz,开口榛子撞击声能量在全频段趋于分散,因为果形差异和开口长度与方向变化,难以以某固定频率的声压能量差异区分榛子开、闭口状态;对撞击声信号提取MFCC特征参数,也不能直接应用于榛子开、闭口状态的辨识,需要应用特定统计模型或是人工神经网络,进行数据训练和模型识别,这些工作将在后续的研究中展开。

参考文献

- [1] 罗青红, 史彦江, 宋锋惠, 等. 不同产地杂交榛果实品质比较分析[J]. 食品科学, 2013, 34(3): 50-54.
- [2] Pearson T C. Detection of pistachio nuts with closed shells using impact acoustics[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2001, 17(2): 249-253.
- [3] Cetin A Enis, Pearson Tom C, Tewfik Ahmed H. Classification of closed and open shell pistachio nuts using principal component analysis of impact acoustics[C]// Proceedings-IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, May, 17-21, 2004, Montreal, CANADA. New York: IEEE, 2004: 677-680.

- [4] Pearson T C, A Enis Cetin, Ahmed H Tewfik, et al. Feasibility of impact-acoustic emissions for detection of damaged wheat kernels[J]. Digital Signal Processing, 2007, 17(3): 617-633.
- [5] Mahmoud Omid. Development of pistachio sorting system using principal component analysis (PCA) assisted artificial neural network (ANN) of impact acoustics[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(10): 7 205-7 212.
- [6] Adel Hosainpour, Mohammad H Komarizade, Asghar Mahmoudi, et al. High speed detection of potato and clod using an acoustic based intelligent system[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(10): 12 101-12 106.
- [7] Buerano J, Zalameda J, Ruiz R S. Microphone system optimization for free fall impact acoustic method in detection of rice kernel damage [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 85(7): 140-148.
- [8] 吴雪. 鸡蛋裂纹损伤检测的声振分析方法研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 10-13.
- [9] 胡红利, 闫洁冰, 邢文奇, 等. 基于撞击声的开心果分拣模型研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 157-160.
- [10] A Enis Cetin, Tom C Pearson, R Akin Sevimli. System for removing shell pieces from hazelnut kernels using impact vibration analysis[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 101(11): 11-16.
- [11] 李志忠, 滕光辉. 基于改进 MFCC 的家禽发声特征提取方法[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 202-205.
- [12] 胡红利, 闫洁冰, 邢文奇, 等. 基于 MFCC 和 HMM 的气固流型辨识[J]. 沈阳工业大学学报, 2013, 35(5): 555-560.
- [13] Mahmoud Omid, Asghar Mahmoudi, Mohammad H Omid. An intelligent system for sorting pistachio nut varieties[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(9): 11 528-11 535.
- [14] Mahmoud Omid. Design of an expert system for sorting pistachio nuts through decision tree and fuzzy logic classifier[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(4): 4 339-4 347.

(上接第95页)

的方法分析球磨机转速、球料比和中小球质量比等球磨因素对球磨介质的运动状态、基本力学特征以及三七粉碎后粒径的影响规律。发现过高的转速、球料比、中小球比会导致球磨罐体的填充率和转速率过大,会对三七粉末粉碎的均匀性与粉碎粒度造成影响,应适当控制;确定影响三七超微粉碎关键因素:转速>球料比>中小球比,对应的最佳水平为转速500 r/min,球料比8:1(m:m),中小球比1:4。仿真和试验分析可为二次回归正交旋转组合试验方案提供因素水平范围。然而,由于此仿真只是单独模拟磨球的运动,并没有考虑三七粉体对磨球运动的影响,因此还需要做进一步的研究。

参考文献

- [1] 孙小玲. 三七的研究进展[J]. 云南中医中药杂志, 2005, 26(6): 44-46.
- [2] 吴雪, 刘斌, 冯涛. 微射流均质机的超微粉碎机理分析[J]. 食品与机械, 2009, 25(3): 65-68.

- [3] 谢怡斐, 田少君, 马燕, 等. 超微粉碎对豆渣功能性质的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 7-11.
- [4] Emden H K, Simsek E, Rickelt S, et al. Review and extension of normal force models for the Discrete Element Method[J]. Powder Technology, 2007, 171(3): 157-173.
- [5] Rajamani R K, Venugopal R. 3D simulation of charge motion in tumbling mills by the discrete element method[J]. Powder Technology, 2001, 115(2): 157-166.
- [6] Cleary P W. Charge behaviour and power consumption in ball mills: sensitivity to mill operating conditions, liner geometry and charge composition[J]. International Journal of Mineral Processing, 2001, 63(2): 79-114.
- [7] 黄晚清, 陆阳. 应用离散单元法研究散体微观结构[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2007, 39(1): 69-73.
- [8] 金辉霞, 柏娜, 杨格兰. 转筒内颗粒混合过程的DEM仿真研究[J]. 控制工程, 2015, 20(3): 566-570.
- [9] 戚华彪, 周光正, 于福海, 等. 物质混合行为的离散单元法研究[J]. 化学进展, 2015, 27(1): 113-124.
- [10] 李壮哲, 卢伟文, 黄志洪, 等. 药用三七球磨法超微粉碎的试验研究[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2014, 27(2): 1-5.