

# 基于 DSP 的鸡蛋裂纹多通道检测系统

## Multi channel detection system of eggshell crack based on DSP

胥保文 孙力 蔡健荣 戴其俊

XU Bao-wen SUN Li CAI Jian-rong DAI Qi-jun

(江苏大学, 江苏 镇江 212013)

(Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

**摘要:**为了实时采集鸡蛋敲击响应声音信号,设计了基于 TMS320F28335 的鸡蛋裂纹检测系统,采用外部中断触发 DSP 实时采集敲击响应音频信号。结果显示:完好蛋与裂纹蛋的声音信号频谱存在明显差异,完好蛋频谱的第二共振峰频率集中在 6 890 Hz 左右,而裂纹蛋的第二共振峰频率无明显规律。结果表明,该系统能够满足检测的要求。

**关键词:**鸡蛋裂纹;音频检测;DSP

**Abstract:** The eggshell-crack can be detected by the acoustic features of impact response signal in a non-destructive way. To collect and analyze the acoustic signals in real time, an eggshell crack detection system based on TMS320F28335 was designed. The acquisition of the responded audio signal was triggered by the external interrupt of DSP. By comparison of frequency spectrums between intact and cracked eggs, there is a significant difference in the audio signal spectrum. The frequency of the second formant of the intact egg spectrum is concentrated at about 6 890 Hz, while the frequency of the second formant of the cracked egg has no obvious regularity. In conclusion, the system can meet the requirements of detection and provide a hardware platform for the further research of eggshell crack detection algorithms.

**Keywords:** eggshell-crack; audio frequency detection; DSP

裂纹蛋极易受到致病微生物的污染而腐败变质,对其进行及时检测与处理,有利于保障食品质量安全、减少经济损失。由于人工检测鸡蛋裂纹的效率低且准确率受人为因素影响大,因此开发自动化裂纹检测技术是鸡蛋商品化处理的必经之路。为此,国内外学者对禽蛋蛋壳裂纹的声学特性检测进行了大量研究。潘磊庆等<sup>[1-3]</sup>建立了基于声学特性的禽蛋裂纹检测装置,通过声音信号分析提取特征参数,并对

比不同判别模型的优劣性,其研究重点是数字信号处理与判别模型建立的方法,对检测系统软硬件设计的研究相对较少。丁幼春等<sup>[4-7]</sup>设计了一套基于微处理器的禽蛋裂纹敲击检测系统,试验装置敲击效果稳定,但未对所设计系统实际检测效果进行评价。

本研究拟利用敲击响应声学特性的方法对鸡蛋蛋壳裂纹进行快速无损检测,为了准确采集鸡蛋敲击响应声音信号,采用 TMS320F28335 作为系统核心处理器,实现激励棒的敲击动作控制和音频信号实时采集,通过音频编解码芯片 TLV320AIC23 完成采集。

## 1 鸡蛋裂纹检测系统总体设计

鸡蛋裂纹检测系统原理框图如图 1 所示。

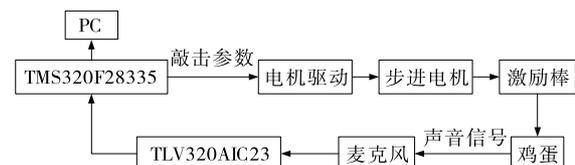


图 1 鸡蛋裂纹检测系统原理框图

Figure 1 Block diagram of eggs crack detection system

采用 TMS320F28335 为主处理器,控制步进电机带动激励棒敲击鸡蛋赤道附近位置,敲击产生的声音信号由麦克风接收,通过 TLV320AIC23 音频编解码芯片送至 DSP 处理。激励棒的质量 < 5.6 g, 材质为尼龙,以避免鸡蛋在检测过程中二次损伤<sup>[8]</sup>。

## 2 系统硬件电路设计

检测系统硬件包括主处理器模块、声音信号采集模块、电源模块以及串口通信模块等,结构框图如图 2 所示,实物如图 3 所示。

### 2.1 电源模块设计

硬件供电为 +5 V 直流稳压电源。由于 TMS320F28335 工作要求电压有 2 种:1.9 V 为内核电压、3.3 V 为 I/O 口供电电压,其对电源稳定性要求较高,需要高精度稳压芯片。

**基金项目:**国家科技支撑计划课题(编号:2015BAD19B05)

**作者简介:**胥保文,男,江苏大学实验师,硕士。

**通信作者:**蔡健荣(1966—),男,江苏大学教授,博士生导师,博士。

E-mail: jrcai@ujs.edu.cn

**收稿日期:**2018-07-25

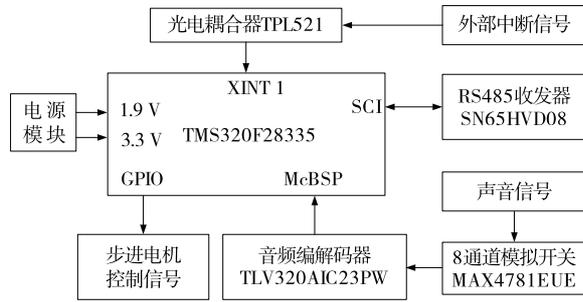


图2 系统的硬件结构框图  
Figure 2 System hardware block diagram

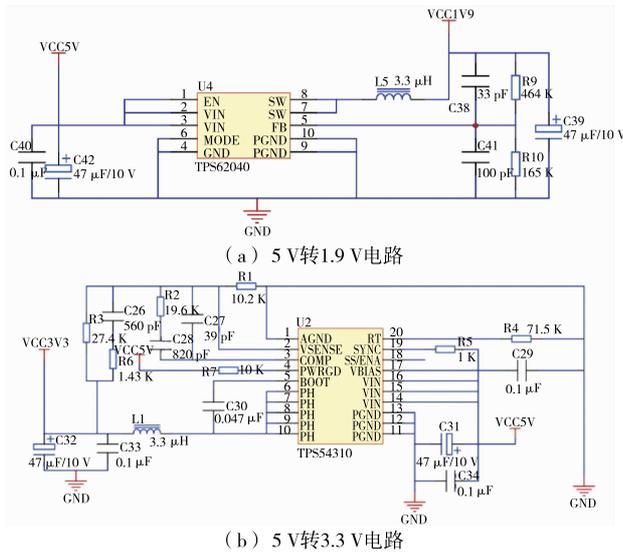


图3 电源模块电路图

Figure 3 Schematic diagram of the power supply module

设计了图3所示电源模块电路,由TPS54310型稳压芯片提供3.3V电压作为电路板主电源,TPS62040转换芯片提供1.9V给DSP内核使用,电压输出误差在1%以内。电路输出端接入一个47µF的电容可有效改善瞬态响应速度和稳定性<sup>[9]</sup>。

2.2 音频接口设计

通过麦克风和音频Codec芯片完成鸡蛋敲击响应信号采集。采用TI公司的TLV320AIC23型语音芯片,将驻极体电容麦克风获取的声音信号通过A/D转换成数字信号。TLV320AIC23内部集成了模数转换器(ADC)和数模转换器(DAC),且带有完整的数字滤波器,采用先进的Σ-Δ过采样技术,可以在8~96kHz的采样率下提供16,20,24,32bit的采样精度。当ADC采样频率达到96kHz时输出信噪比为90dB,能高保真采集鸡蛋敲击响应声音信号。

音频接口电路图如图4所示。TLV320AIC23与TMS320F28335 DSP的接口包括2个部分:控制接口和数据接口。控制口完成对AIC23的控制部分功能,设计中将MODE引脚接地,将控制接口类型配置为2线制的I<sup>2</sup>C方式;数据口是实现声音信号传输的功能,设置AIC23工作于DSP模式下。在VMID将0.1,10µF电容并联到VMID端子以实现滤除噪声的作用。

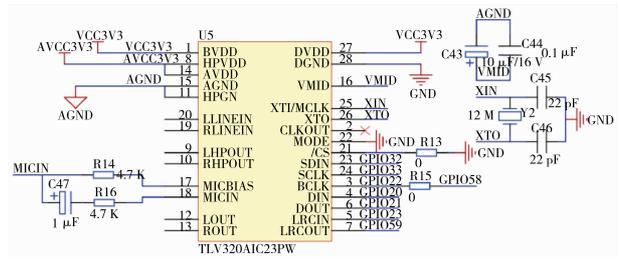


图4 音频接口电路图

Figure 4 Audio interface circuit diagram

蛋壳裂纹检测时,只有在裂纹处或附近敲击产生的声音信号才与完好蛋存在显著差异,因此同一枚鸡蛋需要在不同位置多次敲击,在输送带上并列安装多个激励棒,鸡蛋向前滚动时实现对不同位置的敲击,因此在每个激励点附近需安装麦克风。采用美信公司MAX4781型多路模拟开关,实现对多个麦克风输出信号的顺序采样,图5为8通道模拟开关电路图。

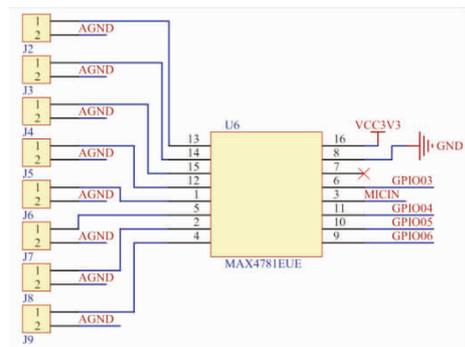


图5 8通道多路模拟开关电路图

Figure 5 8-channel analog multiplexer circuit diagram

2.3 通信模块设计

JTAG接口用于将程序烧写到DSP内部FLASH和仿真调试。为了方便信号分析,借助MATLAB的工具箱CCSLink实时读取DSP数据寄存器中的声音信号数据,在MATLAB环境中对声音信号进行处理与分析。CCSLink支持XDS510仿真器,其通信通过JTAG接口实现。TMS320F28335内置SCI串行通信模块,SCI数据传输时为TTL电平,因此可以通过电平转换芯片将其设计成RS232或RS485接口。RS485接口是基于平衡发送和差分接收的串行总线,具有很强的抗共模干扰能力<sup>[10]</sup>。采用TI公司SN65HVD08型宽电源范围的RS485收发器将SCI串口设计为RS485接口。串行通信接口电路如图6所示。

2.4 外部中断模块设计

步进电机带动激励棒完成对鸡蛋的敲击动作,通过接近开关检测激励棒击打时机,将接近开关(欧姆龙公司,E2E-X1C1型,24V)的输出信号通过TMS320F28335的外部中断触发对敲击响应声音信号的实时采集。激励棒从起始位置到与鸡蛋接触瞬间,步进电机转动的角度由系统标定时获得。由于TMS320F28335的I/O口电平为3.3V,需对接近开关的输出信号电平进行转换。为了减小电路干扰,采用光电耦合器实现电平转换和信号隔离,选择东芝半导体TPL521型光电耦合器,电路如图7所示。

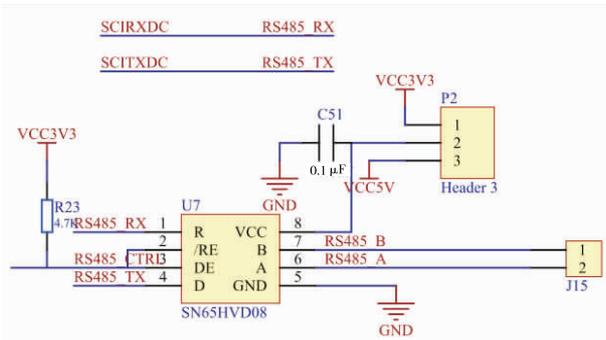


图 6 串行通信接口电路

Figure 6 Serial communication interface circuit

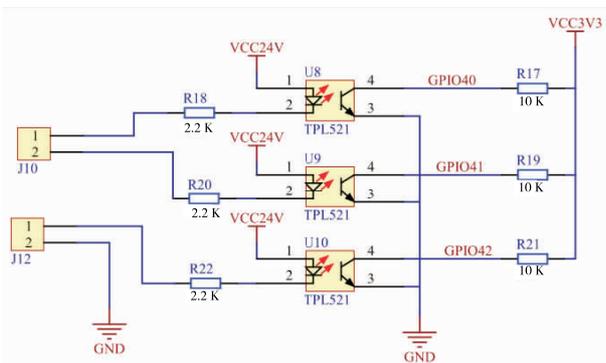


图 7 光电耦合电路

Figure 7 Optocoupler circuit

### 3 试验与分析

为了验证该系统对鸡蛋裂纹的检测效果,对鸡蛋进行敲击试验。试验样本选自江苏省镇江市东郊农场产后 1~2 d 的褐色壳完好鸡蛋 50 枚。首先对完好蛋进行敲击试验,然后对完好蛋进行人为地制造微裂纹并标记出裂纹位置,将其作为裂纹鸡蛋试验样本。

试验中对完好蛋与裂纹蛋分别进行敲击。具体步骤为:步进电机上安装的编码器获取激励棒击打时机,连续采集敲击响应声音信号 4 ms,通过 A/D 转换生成数字信号,利用 Matlab 软件对声音信号进行处理,去除信号平坦部分,该部分信号尚未接收到击打信息,当信号发生剧烈震荡时,保留其后 2.5 ms 信息,该部分信号为激励棒击打鸡蛋并被第一次弹起的时间周期。完好蛋与裂纹蛋的敲击响应时域信号见图 8。从图 8 中发现两者差异不显著。

将时域信号进行快速傅里叶变换(FFT),得到声音信号频谱图。从频谱图中发现,完好蛋敲击响应声音信号的第二共振峰所对应的频率,集中出现在 6 890 Hz 周围;而裂纹蛋的声音信号第二共振峰无明显规律性,统计结果如图 9 所示。由图 9 可见,完好蛋具有明显的统计特征,而裂纹蛋无统计规律;部分裂纹蛋的第二共振峰落入完好蛋区间的主要原因是激励棒的敲击点正好落在裂纹蛋的蛋壳完好区域,导致音频响应信号与完好蛋相似,可采用增加敲击密度的方法避免误判问题发生;图中部分完好蛋偏离第二共振峰特征区间,可能是蛋壳表面质量不均匀或蛋壳刚度较差所致。

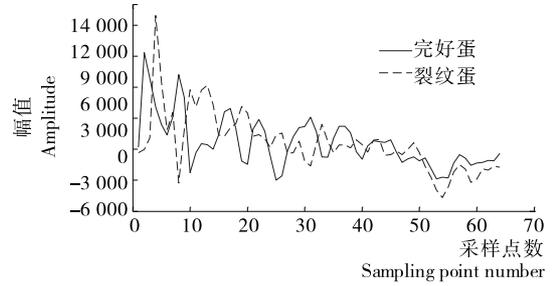


图 8 敲击响应声音信号的时域信号

Figure 8 Time-domain waveform of percussion response acoustic signal

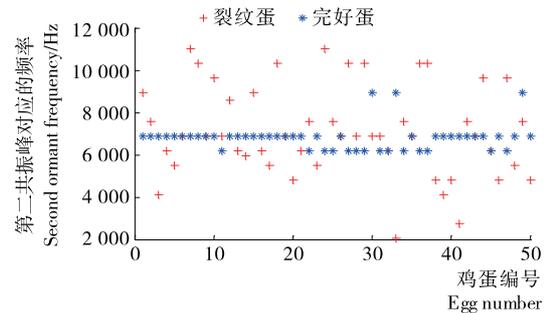


图 9 声音信号频谱第二共振峰对应的频率

Figure 9 Frequency of the second resonant peak of the sound signal spectrum

### 4 总结

设计了基于 TMS320F28335 的鸡蛋裂纹在线检测系统,采用 TLV320AIC23 语音芯片结合电容式麦克风采集鸡蛋敲击响应声音信号,将硬件系统集成化。试验结果表明,系统能准确控制敲击时机,实时采集声音信号。与现有研究相比,突破了理论研究到实际应用的门槛。后续将对多通道信号进行研究和比对,以消除机械制造误差和环境噪声带来的干扰。

#### 参考文献

- [1] 潘磊庆,屠康,刘明,等. 基于声学响应和 BP 神经网络检测鸡蛋裂纹[J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(6): 115-118.
- [2] 林颖,赵杰文,陈全胜,等. 基于声学特性的鸡蛋蛋壳裂纹检测[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 199-202.
- [3] 孙力,蔡健荣,林颖,等. 基于声学特性的禽蛋裂纹实时在线检测系统[J]. 农业机械学报, 2011, 42(5): 183-186.
- [4] 丁幼春,熊利荣,文友先,等. 基于单片机的鸭蛋破损脉冲检测敲击装置[J]. 农机化研究, 2006(12): 115-117.
- [5] 梅劲华,王石泉,王树才. 禽蛋破损在线检测自动敲击发声装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 334-338.
- [6] 刘俭英,田茂胜,王巧华,等. 基于 DSP 的鸡蛋破损检测分级装置设计[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12): 125-128.
- [7] 姜勇,郭文川. 基于 DSP 的鸡蛋蛋壳破损检测系统硬件设计[J]. 农机化研究, 2008(8): 103-105.
- [8] 张世庆,戴其俊,孙力,等. 禽蛋裂纹检测敲击装置的力学分析与结构优化[J]. 农业机械学报, 2017(5): 347-353.
- [9] 雷晓瑜,曹广忠. TMS320F28335 及其最小应用系统设计[J]. 电子设计工程, 2009, 17(1): 91-92.
- [10] 吴晓艳. 计算机串行通信接口及其应用[J]. 现代电子技术, 2010, 33(18): 83-86.