



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111141823 A

(43)申请公布日 2020.05.12

(21)申请号 202010033330.6

(22)申请日 2020.01.13

(71)申请人 石河子大学

地址 832000 新疆维吾尔自治区石河子市
北五路石河子大学北苑新区机电学院

(72)发明人 赵康 吴杰 查志华 吕吉光
王鹏 张金阁 李贺 朱炳龙
周婷

(51)Int.Cl.

G01N 29/04(2006.01)

G01N 29/46(2006.01)

G01N 29/44(2006.01)

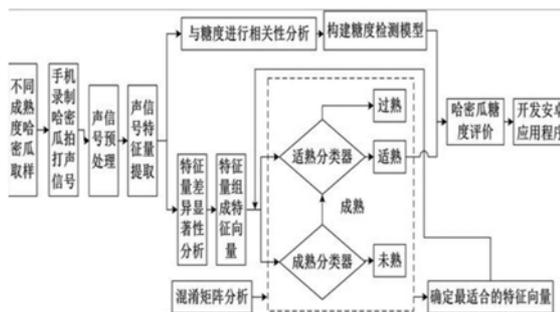
权利要求书2页 说明书8页 附图8页

(54)发明名称

一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法,通过基于嵌入式在 Android Studio 2.2(Google Inc.)开发平台下的编写的手机程序,对采集到的未知哈密瓜成熟度拍打声信号进行预处理分析、建立校正模型并进行检测分析,真正意义上实现了哈密瓜成熟度的快速无损检测。利用本发明提供的技术方案,用户在实际检测过程中,仅需在智能手机上点击安装成功的此款APP,在哈密瓜赤道部的另一侧拍打3次,就可获知哈密瓜是未熟还是成熟,并实现成熟哈密瓜的糖度检测,具有方便、高效、准确的特点。



1. 一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法,其特征在于:具体操作步骤如下:

步骤一:依据园艺以及果农种植经验,首先选取采集未熟、适熟和过熟3种成熟度的哈密瓜试样,以备用;

步骤二:使用安装Android Wave应用程序的智能手机录制声信号,录制时环境噪声为80 dB(相当于闹市噪声音量),用户一般习惯通过拍打赤道部选购哈密瓜,在哈密瓜近赤道部均布的8个位置点分别用手拍打3次,拍打时手机在拍打点对应的一侧录制信号,声信号为WAV格式,采样率设置为44.1 kHz;

步骤三:对录制的原始声信号进行预处理,提取包含哈密瓜成熟度特征量的单次拍打声信号,使用滤波器滤波进一步去除声信号中的噪声,然后对已滤波的时域信号进行幅值归一化处理,最后对时域信号进行频域变换获取频域信号;

步骤四:在进行声信号预处理后,提取11个特征量,其中过零率、平均幅度差函数、短时能量、第1、2、3、4子带短时能量比、帧能量是从时域信号中提取,频谱质心、带宽与共振频率是从频域信号中提取;

步骤五:将步骤四计算提取的不同成熟度哈密瓜声信号特征量进行差异显著性分析,分别确定与未熟、适熟和过熟3种成熟度显著相关的声信号时频域特征量;

步骤六:采用支持向量机(SVM)分类器进行训练和性能评价,找到可用于识别和分类哈密瓜不同成熟度的特征量,确定可判别哈密瓜成熟与未熟的成熟分类器以及可判别适熟与过熟的适熟分类器;

步骤七:步骤六解决了哈密瓜是否成熟和过熟的问题后,继续以剔除了过熟和未熟的哈密瓜为研究对象,分析步骤四声信号中提取的特征量与哈密瓜糖度的相关性,并采用多元回归分析方法构建糖度检测模型,实现哈密瓜糖度的判断;

步骤八:由声信号录制子程序、声信号分析与处理子程序、哈密瓜成熟度判别子程序、用户交互子程序组成的手机安卓应用程序,安装到智能手机中,利用手机android应用实现哈密瓜成熟度的快速检测。

2. 根据权利要求1所述的一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法,其特征在于:步骤三中所述单次拍打声信号的提取采用均方根值RMS法,将不同环境噪声段RMS倍数设为阈值,当声信号RMS值低于阈值将其标记为0,高于阈值标记为1;对于本研究哈密瓜拍打声信号而言,信号标记从0到1变化时作为单次拍打信号的起始点,从1到0变化作为单次拍打声信号的结束点,相邻的起始点与结束点之间存在一次拍打声信号。

3. 根据权利要求1所述的一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法,其特征在于:步骤三中所述时域信号的频域变换快速傅里叶变换(FFT)对时域信号进行自谱分析,FFT点数选为4096点(2048×2)。

4. 根据权利要求1所述的一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法,其特征在于:步骤五中所述SVM分类器的核函数采用径向基核函数。

5. 根据权利要求1所述的一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法,其特征在于:步骤七中所述基于Android哈密瓜成熟度检测的应用软件开发所述主要包括声信号录制、声信号分析与处理、哈密瓜成熟度判别3个子程序,声信号录制子程序实现智能手机上麦克风录制并存储拍打哈密瓜的声信号;声信号分析与处理子程序实现声信号特征

量的计算;哈密瓜成熟度判别子程序将声信号特征量输入成熟度分类器与糖度检测模型,用户交互子程序显示应用程序主界面,信号录制界面以及结果界面。

一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及手机软件开发及农产品品质无损检测技术领域,特别是涉及一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法。

背景技术

[0002] 哈密瓜是新疆传统名优特产,在国内外市场上享有较高的声誉和知名度。目前哈密瓜的生产已由分散栽培逐渐形成了早、中、晚熟规模化生产和供应格局。根据2018年新疆统计年鉴可知,从2000年至2017年,哈密瓜种植面积从2.655万 hm^2 增长到6.820万 hm^2 ,产量从51.22万t增长到246.42万t,哈密瓜每年出疆达到100万t,远销欧洲、东南亚、中西亚及港澳台等50多个国家和地区,为我国出口创汇4523万美元,已成为新疆重要经济作物和农民的重要收入来源。

[0003] 哈密瓜的名牌效应使得全国部分省市也开始种植生产“哈密瓜”,如内蒙古、河北、海南、山东等省区种植面积正以惊人的速度扩增,这些省区采用温室等方式种植,打上“哈密瓜”的牌子提早上市,因运输线路短、成本低,严重冲击了新疆正宗哈密瓜市场,也导致新疆瓜农为抢上市时间,在瓜五、六成熟时采摘,有些瓜农还使用“乙烯利”等催熟剂,使生瓜流入市场。另外,由于园艺措施及光热水土不同,即使同一产地甚至同一瓜园哈密瓜成熟度也不一致,不加选择地采摘上市,使市场上充斥着过熟瓜和未熟瓜。

[0004] 传统的哈密瓜成熟度检测方法多依赖瓜农丰富的经验或检测手段繁琐,多数检测方法会因为人疲劳或主观性而使检测精度不稳定不可靠。对消费者而言,几乎完全不具有判别哈密瓜成熟度能力和经验,在购买时既要担心熟不熟,还要发愁甜不甜,一旦吃上生瓜或过熟瓜,就会对哈密瓜销售及声誉形成了极大负面认识。因此,瓜农和消费者都迫切需要一种便携、易操作、快速、价廉的无损检测装置,实现哈密瓜成熟度较准确评判,这对维护哈密瓜优良品质的声誉以及提高新疆哈密瓜商品率和市场竞争力都具有重要意义。

[0005] 经过几十年的发展,无损检测技术在西瓜/甜瓜成熟度检测领域取得了一定进展,并出现了一些可检测瓜果成熟度的便携式测试仪。Sugiyama 等(1998)基于声学特性研发了一种便携式硬度测试仪检测甜瓜的硬度。该测试仪麦克风未水平安装,采集甜瓜的声波速度误差较大,因而影响了甜瓜硬度检测精度。日本Seiki公司对其进行改进并研制了SA-1型硬度测试仪,该仪器可以检测甜瓜质地以确定每个甜瓜的最佳收获时间。声学法便携式检测仪在瓜园低噪声环境取得了较好检测效果,可以满足瓜农需求,但对甜瓜购买者而言,在市场高噪声环境使用,其检测精度会受到很大影响。Ito 等(2002)基于声振信号检测原理研制了声振便携式硬度仪,可以通过检测网纹甜瓜的硬度判别其成熟度和收获时间。Kuroki 等(2006)也采用压电传感器设计了一种便携装置判断甜瓜的成熟度,在此研究基础上,AVA 公司 (Applied Vibro Acoustic, Japan) 研发一款西瓜内部品质检测装置,Zhang等(2018)认为压电传感器的激励力角度和位置对测量结果影响较大,尽管该检测仪器在实验室条件下取得了较高检测精度,但实际测试时水果却很难保证自由振动。上述瓜果成熟度检测仪尽管较为轻便,但若购买甜瓜而专门携带,仍然不太符合消费者使用习惯。

近年来,随着移动互联网的快速发展,智能手机已成为人们现代生活中必不可少的设备之一,其内置的摄像头、麦克风等使移动感测颇具应用开发潜力,应该值得关注其在果蔬品质检测方面的研究进展,为实现哈密瓜成熟度便携快速检测提供了更为可行的思路。

[0006] 近年来,国外研究学者已经研制开发了采用声信号检测西瓜成熟度的手机应用APP,如MelonMeter, iWaterMelon, WaterMelon Prober等,但研究者指出这些应用对拍打西瓜的声信号不敏感且准确率低,检测结果不可靠。考虑到用户通常通过拍打来挑选瓜果,因此,如果能够增强手机声信号处理分析,以获得对哈密瓜成熟度相关的特征量,有望提高手机检测哈密瓜成熟度的精度。

发明内容

[0007] 为了克服上述现有技术的不足,本发明提供了一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法,通过基于嵌入式在Android Studio 2.2(Google Inc.)开发平台下的编写的手机程序,对采集到的未知哈密瓜成熟度拍打声信号进行预处理分析、建立校正模型并进行检测分析,实现哈密瓜成熟度的快速无损检测。

[0008] 本发明所采用的技术方案是:一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法,其特征在于:声信号录制、声信号分析与处理、哈密瓜成熟度判别3个子程序,具体步骤如下。

[0009] 声信号录制,拍打哈密瓜产生的声信号经智能手机上的麦克风转变为电压信号,手机系统内置的放大电路对电压信号进行放大,然后手机系统对放大后的信号进行采样、量化和编码,最后声信号转变为数据流,然后调用Recorder函数,对音频录制参数初始化,定义环境噪声长度NoiseTime=176400,输入环境噪声Noise数据流,调用Preprocessing函数,计算环境噪声均方根值NR,输入调整的噪声灵敏度参数Times,计算拍打声信号阈值Threshold = NR×Times,拍打声信号次数初始化i = 0,输入声信号Signal数据流,调用Preprocessing函数,计算声信号Signal和均方根值数组SR[],存储3次拍打声信号数据流到手机内存。

[0010] 声信号分析与处理,由FeatureExtraction函数完成,先调用DataManager函数,读取存储的3次拍打声信号数据流,调用Filter函数对拍打声信号进行滤波,计算3次拍打声信号时域特征量E、SSTE1、SSTE2、SSTE3、SSTE4、ZCR,计算3次拍打声信号各时域特征量的平均值,调用Fourier函数进行傅里叶变换,计算频域特征量wc,计算3次拍打声信号频域特征量的平均值,输出3次拍打声信号各特征量的平均值。

[0011] 哈密瓜成熟度判别,调用LIBSVM 3.2工具包中的函数svm_train({'trainingdata.txt', 'model.txt'}, '-s 0 -t 2'),该函数通过分类器的不同参数分别定义了SVM类型为一对多,核函数类型为高斯径向基,当trainingdata.txt为成熟和未熟哈密瓜的3个特征量帧能量E、第1子带短时能量比SSTE1和频谱质心wc组成训练集数据时,该数据文件作为函数的输入变量,输出的model.txt为成熟分类器,被重新命名为RipeClassifier.txt;当trainingdata.txt为适熟和过熟哈密瓜的3个特征量过零率ZCR、第2、3子带短时能量比SSTE2、SSTE3组成训练集数据时,该数据文件作为函数的输入变量,输出的model.txt为适熟分类器,被重新命名为PripeClassifier.txt。该子程序主要功能由SscDetection函数和SelectMelon函数完成,分别完成哈密瓜糖度的检测和成熟度的判

别。SelectMelon函数使用SVM成熟分类器RipeClassifier和适熟分类器PripeClassifier判别哈密瓜的不同成熟度;SscDetection函数采用适熟哈密瓜糖度检测模型,代入特征量wc、E、SSTE1、SSTE2和SSTE4计算糖度值。将LIBSVM工具包导入Android Studio 2.2,然后直接使用工具包中的函数调用已训练的模型即RipeClassifier.txt和PripeClassifier.txt。

[0012] 本发明利用上述哈密瓜成熟度检测应用软件系统程序,提供一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法,包括如下步骤。

[0013] 步骤一:依据园艺以及果农种植经验,首先选取采集未熟、适熟和过熟3种成熟度的哈密瓜试样,以备用。

[0014] 步骤二:使用安装Android Wave应用程序的智能手机录制声信号,录制时环境噪声为80 dB(相当于闹市噪声音量),用户一般习惯通过拍打赤道部选购哈密瓜,在哈密瓜近赤道部均布的8个位置点分别用手拍打3次,拍打时手机在拍打点对应的一侧录制信号,声信号为WAV格式,采样率设置为44.1 kHz。

[0015] 步骤三:对录制的原始声信号进行预处理,提取包含哈密瓜成熟度特征量的单次拍打声信号,使用滤波器滤波进一步去除声信号中的噪声,然后对已滤波的时域信号进行幅值归一化处理,最后对时域信号进行频域变换获取频域信号。

[0016] 步骤四:在进行声信号预处理后,提取11个特征量,其中过零率、平均幅度差函数、短时能量、第1、2、3、4子带短时能量比、帧能量是从时域信号中提取,频谱质心、带宽与共振频率是从频域信号中提取。

[0017] 步骤五:将步骤四计算提取的不同成熟度哈密瓜声信号特征量进行差异显著性分析,分别确定与未熟、适熟和过熟3种成熟度显著相关的声信号时频域特征量。采用支持向量机(SVM)分类器进行训练和性能评价,找到可用于识别和分类哈密瓜不同成熟度的特征量,确定可判别哈密瓜成熟与未熟的成熟分类器以及可判别适熟与过熟的适熟分类器。

[0018] 步骤六:步骤五解决了哈密瓜是否成熟和过熟的问题后,继续以剔除了过熟和未熟的哈密瓜为研究对象,分析步骤四声信号中提取的特征量与哈密瓜糖度的相关性,并采用多元回归分析方法构建糖度检测模型,实现哈密瓜糖度的判断。

[0019] 步骤七:由声信号录制子程序、声信号分析与处理子程序、哈密瓜成熟度判别子程序、用户交互子程序组成的手机安卓应用程序,安装到智能手机中,利用手机android应用实现哈密瓜成熟度的快速检测。

[0020] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

尽管国外已经研制了采用声信号检测西瓜成熟度的手机应用APP,但研究者指出这些应用对拍打西瓜的声信号不敏感且准确率低,检测结果不可靠。国内目前针对哈密瓜成熟度的判别依然多依赖瓜农丰富的经验或检测手段繁琐,多数检测方法会因为人疲劳或主观性而使检测精度不稳定不可靠。因此,瓜农和消费者都迫切需要一种便携、易操作、快速、价廉的无损检测装置,实现哈密瓜成熟度较准确评判。本发明提供一种基于智能手机声信号的哈密瓜成熟度快速检测方法,通过基于嵌入式在Android Studio 2.2(Google Inc.)开发平台下的编写的手机程序,对采集到的未知哈密瓜成熟度拍打声信号进行预处理分析、建立校正模型并进行检测分析,真正意义上实现了哈密瓜成熟度的快速无损检测。利用本发明提供的技术方案,用户在实际检测过程中,仅需在智能手机上点击安装成功的此款

APP,在哈密瓜赤道部的另一侧拍打3次,就可获知哈密瓜是未熟还是成熟,并实现成熟哈密瓜的糖度检测。

附图说明

- [0021] 图1为基于智能手机哈密瓜成熟度快速检测方法流程图。
 [0022] 图2为拍打哈密瓜时手机录制的原始声信号示意图。
 [0023] 图3为声信号预处理工作过程流程图。
 [0024] 图4为去噪后的声信号示意图。
 [0025] 图5为幅值归一化后的单次拍打时/频域声信号示意图。
 [0026] 图6为哈密瓜糖度检测取样位置示意图。
 [0027] 图7为哈密瓜糖度检测模型的校正集与验证集结果图。
 [0028] 图8为应用软件系统开发的总体方案示意图。
 [0029] 图9为信号录制子程序流程图。
 [0030] 图10为FeatureExtraction函数流程图。
 [0031] 图11为成熟度判别子程序流程图。
 [0032] 图12为应用软件判别哈密瓜成熟度的结果;
 [0033]

具体实施方式

[0034] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明了,下面结合具体实施方式并参照附图,对本发明进一步详细说明。此外,在以下说明中,省略了对公知结构和技术的描述,以避免不必要地混淆本发明的概念。

[0035] 实施例:下面结合附图对本发明进一步说明。

[0036] 如图1所示,本发明提供一种基于智能手机的哈密瓜成熟度无损检测方法,具体的操作方式为:使用时,打开听音识瓜智能手机app,将手机麦克风靠近测试位置,在软件界面上点击“检测成熟度”选项,用手在哈密瓜赤道部进行3次拍打,声信号传输至android端,应用软件系统程序迅速完成声信号分析与处理以及哈密瓜成熟度的判别,5s后智能手机屏幕上即可显示出检测结果,操作简单方便,检测效率高,判别效果好。具体开发步骤如下。

[0037] 声信号的预处理,所述拍打哈密瓜时手机录制的原始声信号如图2所示,然后根据图3对声信号进行预处理。首先需要将录制的原始声信号中第1、2、3次拍响声信号提取出来,以便后期对拍响声信号进行分析,此时需要判断每次拍响声信号的起始点,即对每次拍响声信号完成端点检测。计算均方根值RMS将噪声信号从拍响声信号中分离,均方根值的计

算公式为
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i^2}$$
, 式中, n 表示声信号采样点数; s_i 表示声信号的第 i 个采样点。分析

时,将不同环境噪声段RMS倍数设为阈值,当声信号RMS值低于阈值将其标记为0,高于阈值标记为1。对于本研究哈密瓜拍响声信号而言,信号标记从0到1变化时作为单次拍打信号的起始点,从1到0变化作为单次拍响声信号的结束点。相邻的起始点与结束点之间存在一次拍响声信号。将5倍环境噪声RMS值作为动态阈值进行端点检测,完成端点检测后可获取如图4所示的3次拍响声信号。然后使用二阶低通巴特沃斯滤波器对声信号进行滤波,截止频

率设置为22.05 kHz。对声信号完成滤波后,因每次拍打哈密瓜力度不一,单次拍打时域声信号幅值并不一致,现将对声信号进行归一化幅值处理,将信号归一到[-1,1],归一化公式

为: $Y = \frac{2 \times (X - X_{\min})}{X_{\max} - X_{\min}} - 1$, 式中, X, Y 分别为归一化前后的声信号幅值, 无量纲; X_{\max} , X_{\min} 分

别为声信号最大和最小幅值, 无量纲。通过自谱分析的方法将归一化后的拍打时域声信号通过快速傅里叶变换转换为频域信号, 得到频谱中的每一个频率都对应着声响应信号的一个周期谐波分量。采用一定长度的快速傅里叶变换 (FFT) 对时域信号进行自谱分析, 其公式

为: $F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$ 式中, $\omega = 2\pi f$, $F(\omega)$ 表示频域的普函数序列, $f(t)$ 表示时域的数据序列, 为了在智能手机使用时加快计算速度和减少耗电量, FFT 的点数应尽可能少, 但因

部分一次拍打声信号长度大于2048, 所以FFT点数应大于2048。另外FFT点数选择应为2n, 长度不足的部分可以0补足, 所以FFT点数选为4096点 (2048×2), FFT得到的频域信号如图5所示。

[0038] 声信号差异显著特征量的提取, 在进行声信号预处理后, 提取了11个特征量, 过零率、平均幅度差函数、短时能量、第1、2、3、4子带短时能量比、帧能量是从时域信号中提取, 频谱质心、带宽与共振频率是从频域信号中提取, 具体计算公式不单独列出。由于本实例选用的未熟瓜、适熟瓜和过熟瓜样本数分别为37、137、24, 因未熟、适熟和过熟3种成熟度哈密瓜样本数不均等, 需对各声信号特征量进行Kolmogorov-Smirnov (K-S) 检验, 检验其是否符合正态分布。如表1所示, 对于未熟瓜与成熟瓜, 特征量中平均幅度差函数AMDF、第3子带短时能量比SSTE3、带宽BW不存在显著性差异, 不能用于判别未熟瓜和成熟度瓜; 有8个声信号特征量存在显著性差异, 可用于判别未熟瓜和成熟瓜, 分别为短时能量STE、帧能量E、第1、2、4子带短时能量比、过零率ZCR、频谱质心 w_c 、共振频率 f 。对于适熟瓜与过熟瓜, 短时能量STE、帧能量E、频谱质心 w_c 、共振频率 f 不存在显著性差异, 不能用于判别适熟瓜和过熟瓜; 有7个声信号特征量存在显著性差异, 可用于判别适熟瓜和过熟瓜, 分别为平均幅度差函数AMDF、第1、2、3、4子带短时能量比、过零率ZCR、带宽BW。

[0039] 表1 不同成熟度哈密瓜声信号特征量的差异显著性分析结果

特征量	未熟	成熟	适熟	过熟
短时能量 STE	111.12±56.27A	156.81±66.95B	157.49±67.37a	152.62±65.79a
帧能量 E	0.15±0.04A	0.19±0.04B	0.19±0.04a	0.19±0.04a
平均幅度差函数 AMDF	1.29±0.20A	1.32±0.18A	1.45±0.18a	1.32±0.16b
第 1 子带短时能量比 SSTE1	65.70±11.65A	76.51±9.97B	74.15±12.10a	82.57±9.64b
第 2 子带短时能量比 SSTE2	27.27±9.26A	14.42±7.93B	14.76±9.25a	9.43±7.74b
第 3 子带短时能量比 SSTE3	5.05±2.80A	4.81±2.60A	5.07±3.00a	3.77±2.55b
第 4 子带短时能量比 SSTE4	2.11±0.50A	1.37±0.73B	1.13±0.51a	0.95±0.75b
过零率 ZCR	0.04±0.03A	0.06±0.03B	0.06±0.03a	0.05±0.02b
频谱质心 w_c	980.25±447.24A	787.08±296.63B	797.16±290.08a	724.06±335.93a
共振频率 f	283.61±17.41A	223.11±9.65B	232.48±45.03a	217.66±58.07a
带宽 BW	1236.65±477.88A	1316.82±440.87A	1344.63±446.54a	1139.52±365.44b

注：同行大写字母不同表示差异极显著 ($P < 0.01$)，小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

[0040] 基于SVM哈密瓜成熟度分类器的构建，经比较可知，将E, SSTE1, w_c 3个特征量构成特征向量，使用径向基核成熟分类器训练的成熟分类器分类性能最优，将特征量SSTE3、ZCR、SSTE2构成特征向量，使用径向基核训练分类器时，最适宜于哈密瓜适熟和过熟的判别。

[0041] 哈密瓜糖度预测模型的构建，在赤道部取中部内缘果肉放入压蒜器中每次压出2~3滴的汁液滴入折射计与平面平齐，最后测量记录数字，重复测量3次，取平均值作为哈密瓜糖度值。然后进行哈密瓜声信号特征量与糖度的相关分析，协方差和相关系数分别来衡量糖度与特征量间的总体误差和密切程度，其计算公式如下所示。协方差为正值，说明糖度与特征量正相关，否则负相关；协方差为0，说明糖度与特征量不相关，相互独立。相关系数取值区间在1到-1之间，1表示糖度与特征量完全线性相关，-1表示糖度与特征量完全负相关，0表示糖度与特征量不相关。相关性分析结果如表2所示。

$$COV(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n-1}$$

$$r(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

式中， X_i 和 \bar{X} 分别为糖度的观测值和均值； Y_i 和 \bar{Y} 分别为单一特征量的观测值和均值。

[0042] 表2 哈密瓜糖度与声信号特征量之间相关分析

	STE	E	AMDF	SSTE1	SSTE2	SSTE3
COV	76.968	0.050	0.105	0.089	-0.076	-0.029
r	0.788**	0.725**	0.522**	0.719**	-0.803**	-0.710**
	SSTE4	ZCR	w_c	f	BW	
COV	-0.005	-0.018	-417.462	-55.849	-216.120	
r	-0.454**	-0.404**	-0.833**	-0.724**	-0.356**	

注：**表示在0.01的水平下存在显著差异($P < 0.01$)。

[0043] 试验样品按照3:1划分为校正集和验证集2组,选用校正集103个试样,用来构建哈密瓜糖度检测模型;选用验证集34个试样,用来验证所构建的哈密瓜糖度检测模型。经逐步多元回归分析,使用特征量检测哈密瓜糖度结果如图7所示,其检测模型为:

$$SSC = 12.635 + 7.138 \times 10^{-3}E - 8.160 \times 10^{-4}w_c - 3.732SSTE4 - 4.839SSTE2 - 4.369SSTE1$$

检测模型方程自变量个数为5,设定95%的置信水平,自由度为97,对方程进行F检验的结果和对截距 γ_0 和回归系数 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ 的t检验结果如表3所示。表中各t检验均高于临界值 $t_{0.05,97} = 1.984$,表明拟合参数和方程都可信。检测模型相关系数 r_c 高于0.9,模型检测准确性较高,而模型的标准误差RMSEC较小,离散程度较小,检测性能稳定可靠。

回归方程	F 检验	截距 t 检验	回归系数 t 检验	相关系数 r_c	标准误差 RMSEC
SSC=12.635+7.138×10 ⁻³ E- 8.160×10 ⁻⁴ w _c -3.732SSTE4 -4.839SSTE2-4.369SSTE1	103.86 ($P_{sig} < 0.01$)	$t_{\gamma_0} = 31.292$	$ t_{\gamma_1} = 2.343$ $t_{\gamma_2} = 7.061$ $ t_{\gamma_3} = 2.802$ $ t_{\gamma_4} = 3.400$ $ t_{\gamma_5} = 2.637$	0.918	0.368

[0044] 检测模型的验证集的相关系数 r_v 为0.846,相对校正集相关系数 r_c 有所下降,RMSEV为0.453,相对校正集RMSEC有所增加,因此对使用验证集的34个试样的糖度检测值与实测值进行双样本方差分析,验证哈密瓜糖度检测模型的稳定性,当显著水平 $\alpha = 0.05, df = 32$ 时, $F = 1.213$ 小于F检验临界值1.822, $P = 0.297$ 大于0.05,证明糖度检测模型的检测值和实测值间无显著差异,模型可用于哈密瓜糖度检测。

[0045] 使用Android Studio 2.2(Google Inc.)开发安卓应用软件,其系统总体方案如图8所示,主要包括声信号录制、声信号分析与处理、哈密瓜成熟度判别3个子程序。声信号录制子程序实现智能手机上麦克风录制并存储拍打哈密瓜的声信号;声信号分析与处理子程序实现声信号特征量的计算;哈密瓜成熟度判别子程序将声信号特征量输入成熟度分类器与糖度检测模型,用户交互子程序显示应用程序主界面,信号录制界面以及结果界面。

[0046] 拍打哈密瓜产生的声信号经智能手机上的麦克风转变为电压信号,手机系统内置的放大电路对电压信号进行放大,然后手机系统对放大后的信号进行采样、量化和编码,最后声信号转变为数据流,然后由图9所示的子程序流程完成声信号录制。其中,音频录制参数初始化完成表3中的参数设置;定义的环境噪声长度为176400个采样点,表示4 s时长。

[0047] 表3 声信号录制所需设置参数

参数	作用
<u>AudioSource.MIC</u>	将麦克风设为录制源
<u>sampleRateInHz.44100</u>	设置音频采样率
<u>AudioFormat.ENCODING_PCM_16BIT</u>	设置音频编码方式
<u>BufferSizeInBytes.Min</u>	缓冲区字节大小
<u>AudioFormat.WAV</u>	设置输出文件的格式

声信号分析与处理子程序由FeatureExtraction函数完成,其流程如图10所示,后台运行完成工作。

[0048] 哈密瓜成熟度判别子程序通过调用LIBSVM 3.2工具包中的函数svm_train({"trainingdata.txt","model.txt"},'-s 0 -t 2'),该函数通过分类器的不同参数分别定义了SVM类型为一对多,核函数类型为高斯径向基,当trainingdata.txt为成熟和未熟哈密瓜的3个特征量帧能量 E 、第1子带短时能量比SSTE1和频谱质心 w_c 组成训练集数据时,该数据文件作为函数的输入变量,输出的model.txt为成熟分类器,被重新命名为RipeClassifier.txt;当trainingdata.txt为适熟和过熟哈密瓜的3个特征量过零率ZCR、第2、3子带短时能量比SSTE2、SSTE3组成训练集数据时,该数据文件作为函数的输入变量,输出的model.txt为适熟分类器,被重新命名为PripeClassifier.txt。该子程序主要功能由SscDetection函数和SelectMelon函数完成,分别完成哈密瓜糖度的检测和成熟度的判别,本子程序工作流程如图11所示。

[0049] 如图12所示,用户交互子程序主要完成检测成熟度点击的响应、声音录制的显示、检测结果历史记录查阅和噪声灵敏度调整。其中噪声灵敏度调整界面的拖动条SeekBar完成噪声灵敏度值Times的控制,拖动条中滑块位置发生变化,信号录制子程序获取的Times值也随之发生变化,Times默认值为5,最大值为10,最小值为0。

[0050] 为检验哈密瓜成熟度快速检测应用程序的开发软件的检测效果,使用该应用 软件对适熟瓜25个、未熟15个、过熟瓜15个进行成熟度判别,如图12所示,未熟、适熟和过熟的判别准确率分别为93.3%、96.0%和80.0%,总体判别准确率为90.9%。Zeng等(2013)基于线性核函数SVM分类器开发的手机App判别西瓜成熟度,其判别准确率为89.9%;与之相比,本研究分类器采用了较优的径向基核函数,其判别成熟度的准确率有所提升。此外,使用本应用软件检测28个适熟瓜的糖度,相对误差在-9.84%~9.90%,也取得了较好的检测结果。

[0051] 需要注意的是,公布实施例的目的在于帮助进一步理解本发明,但是本领域的技术人员可以理解:在不脱离本发明及所附权利要求的精神和范围内,各种替换和修改都是可能的。因此,本发明不应局限于实施例所公开的内容,本发明要求保护的范围以权利要求书界定的范围为准。

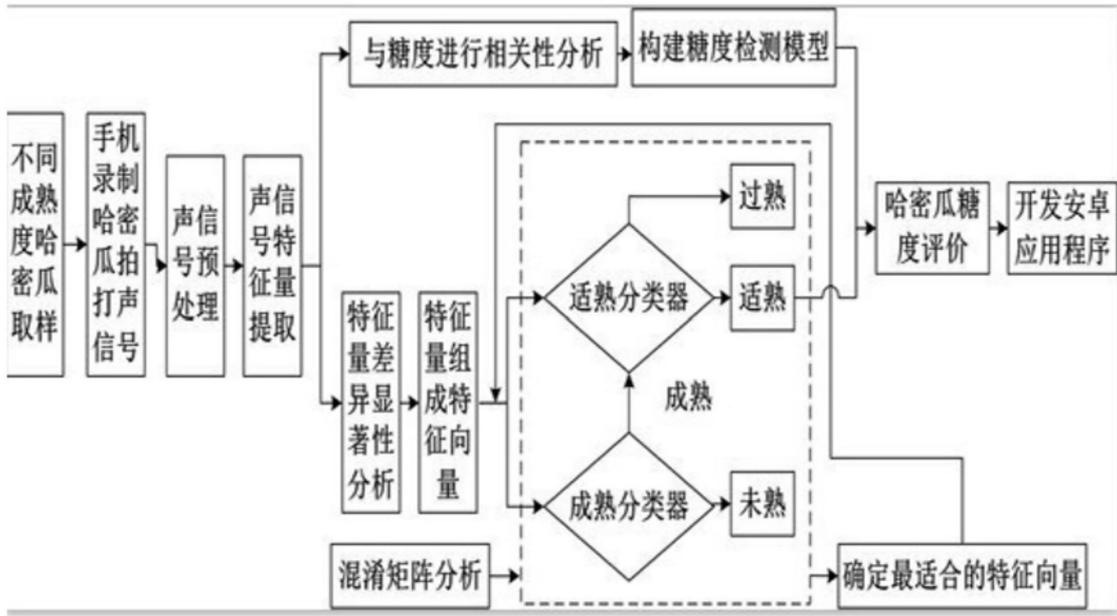


图1

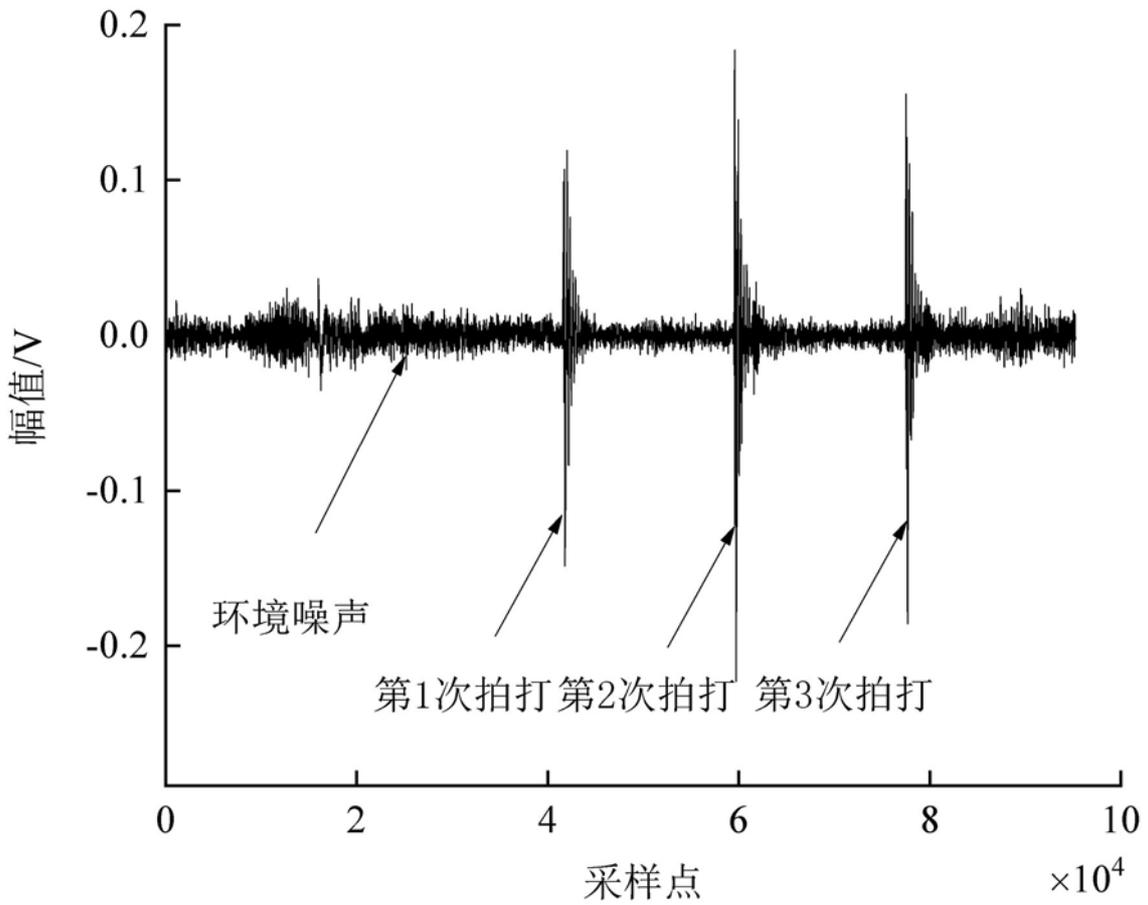


图2

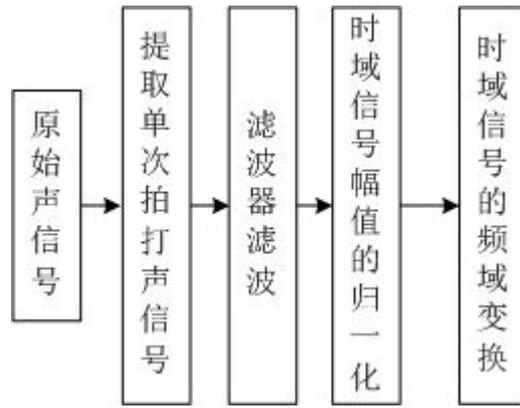


图3

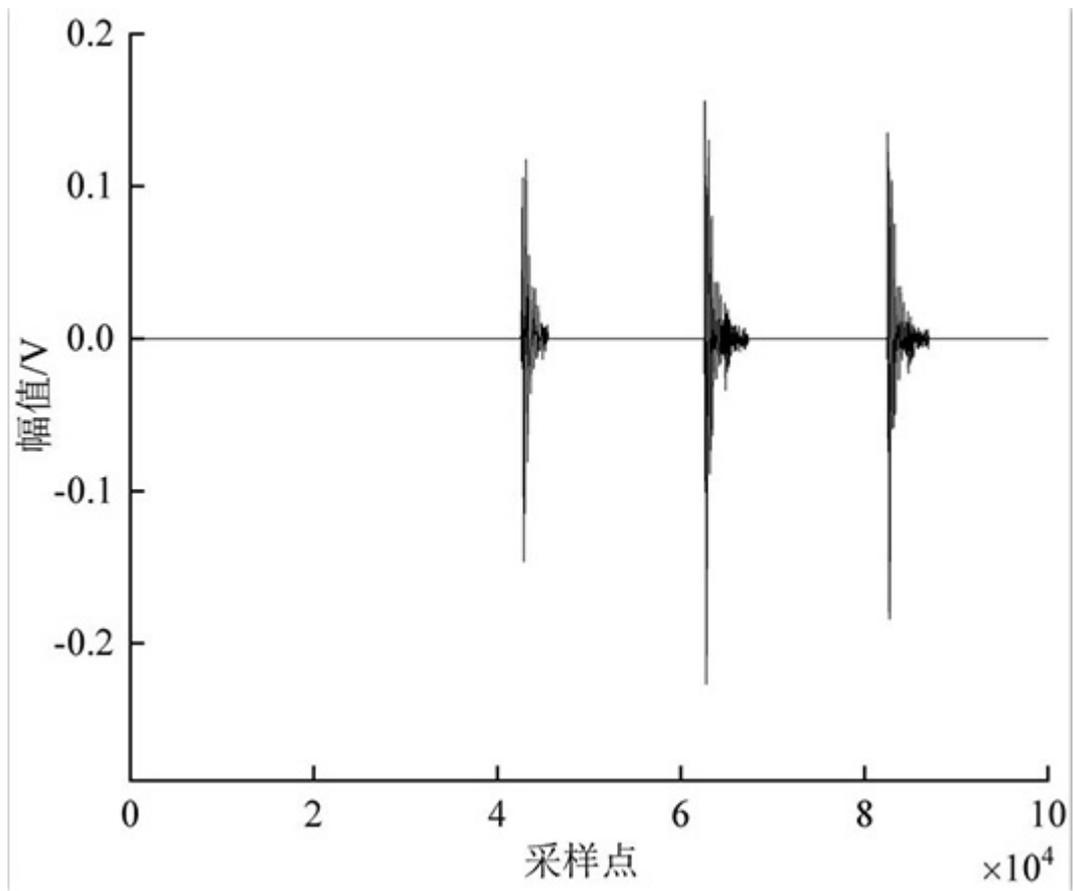


图4

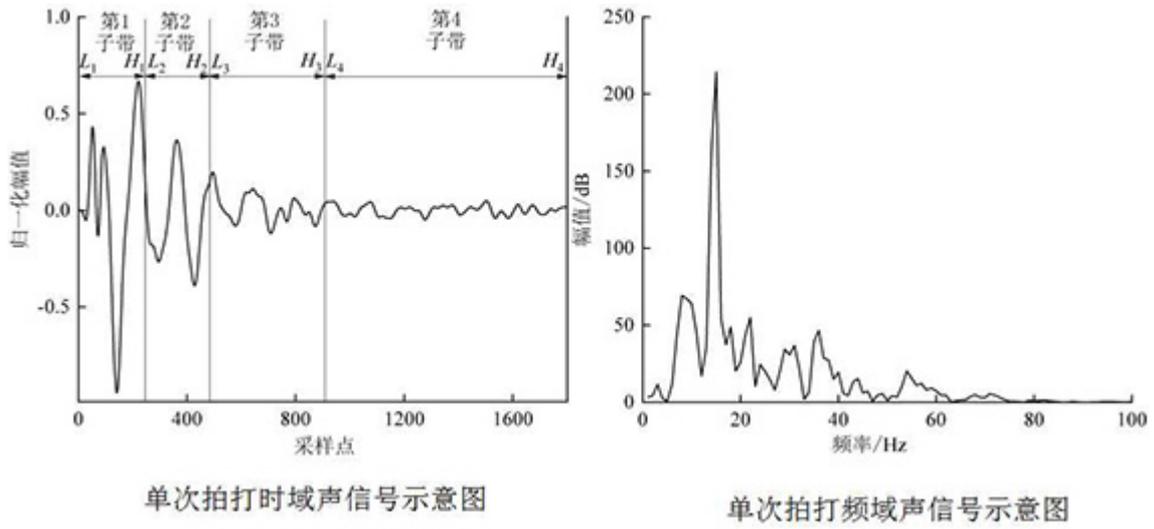


图5

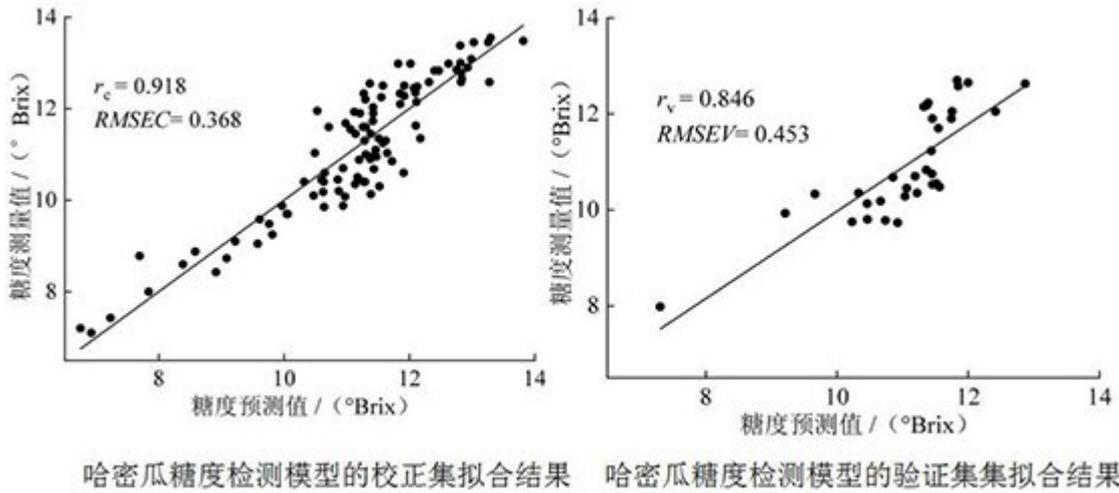


图6

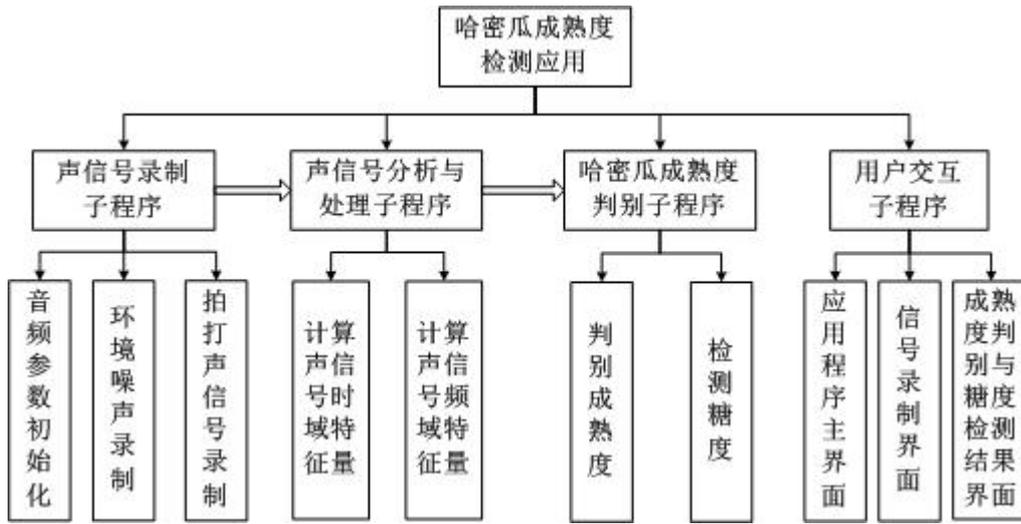


图7

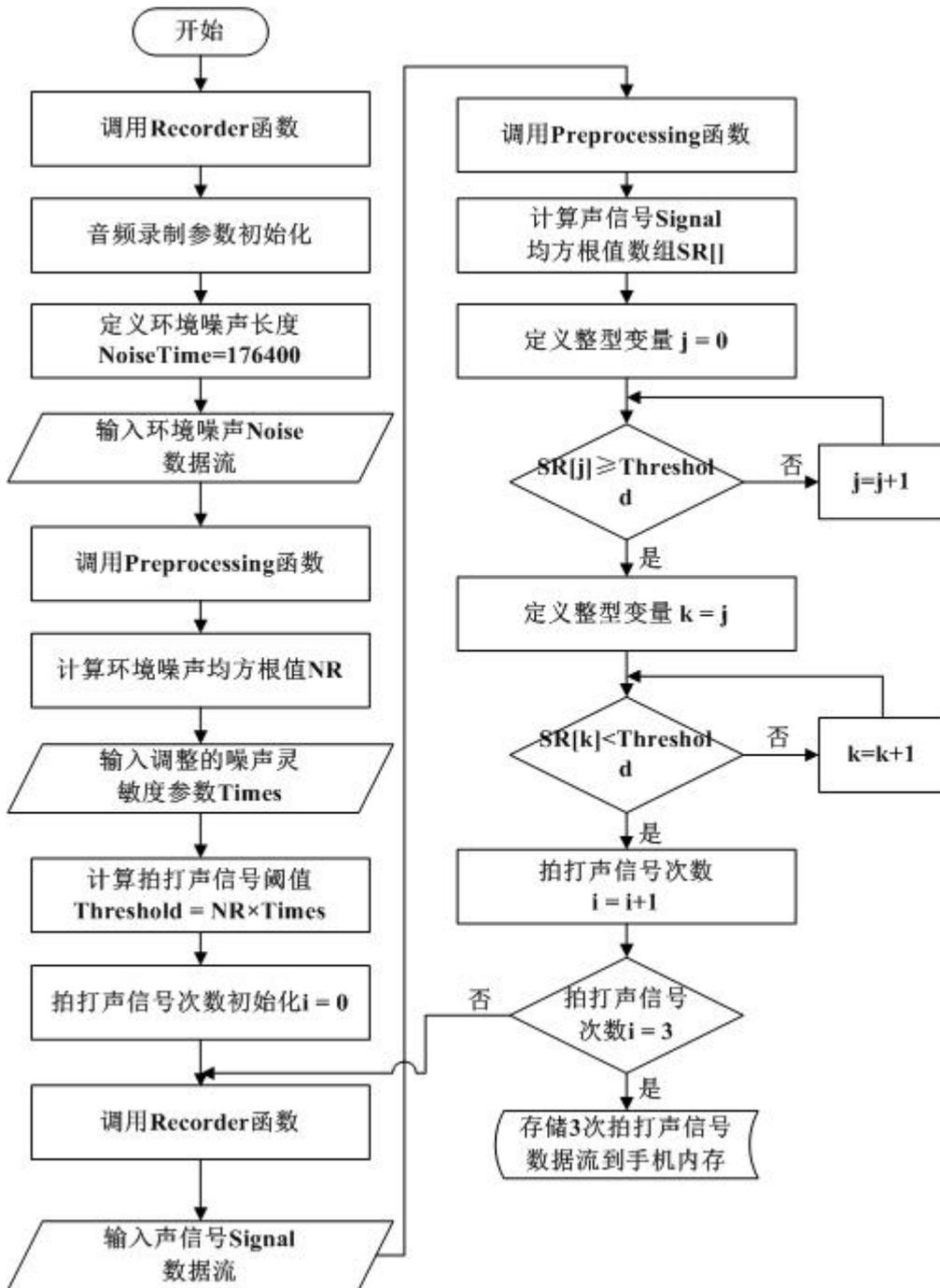


图8

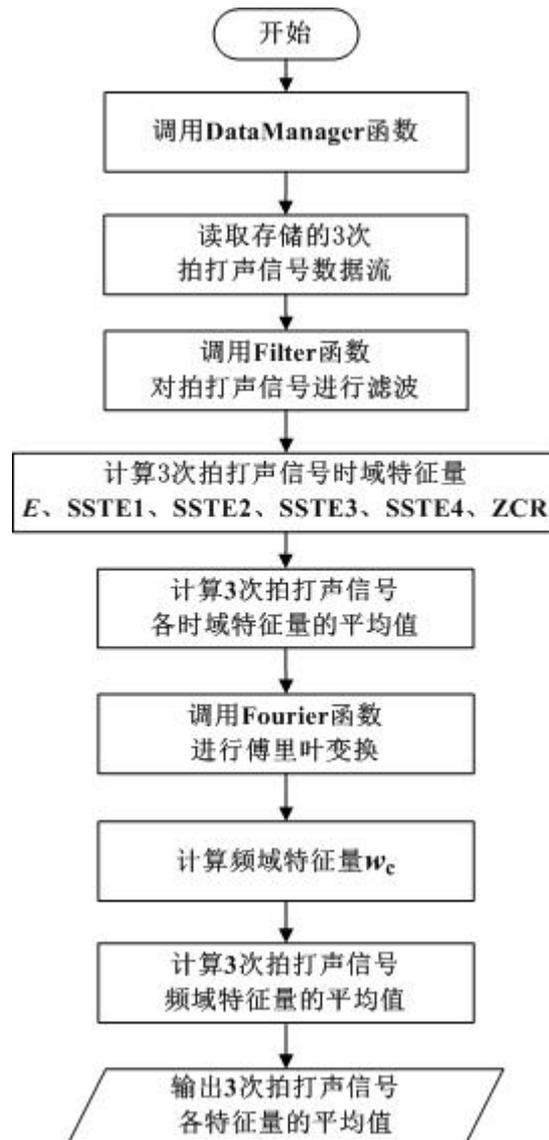


图9

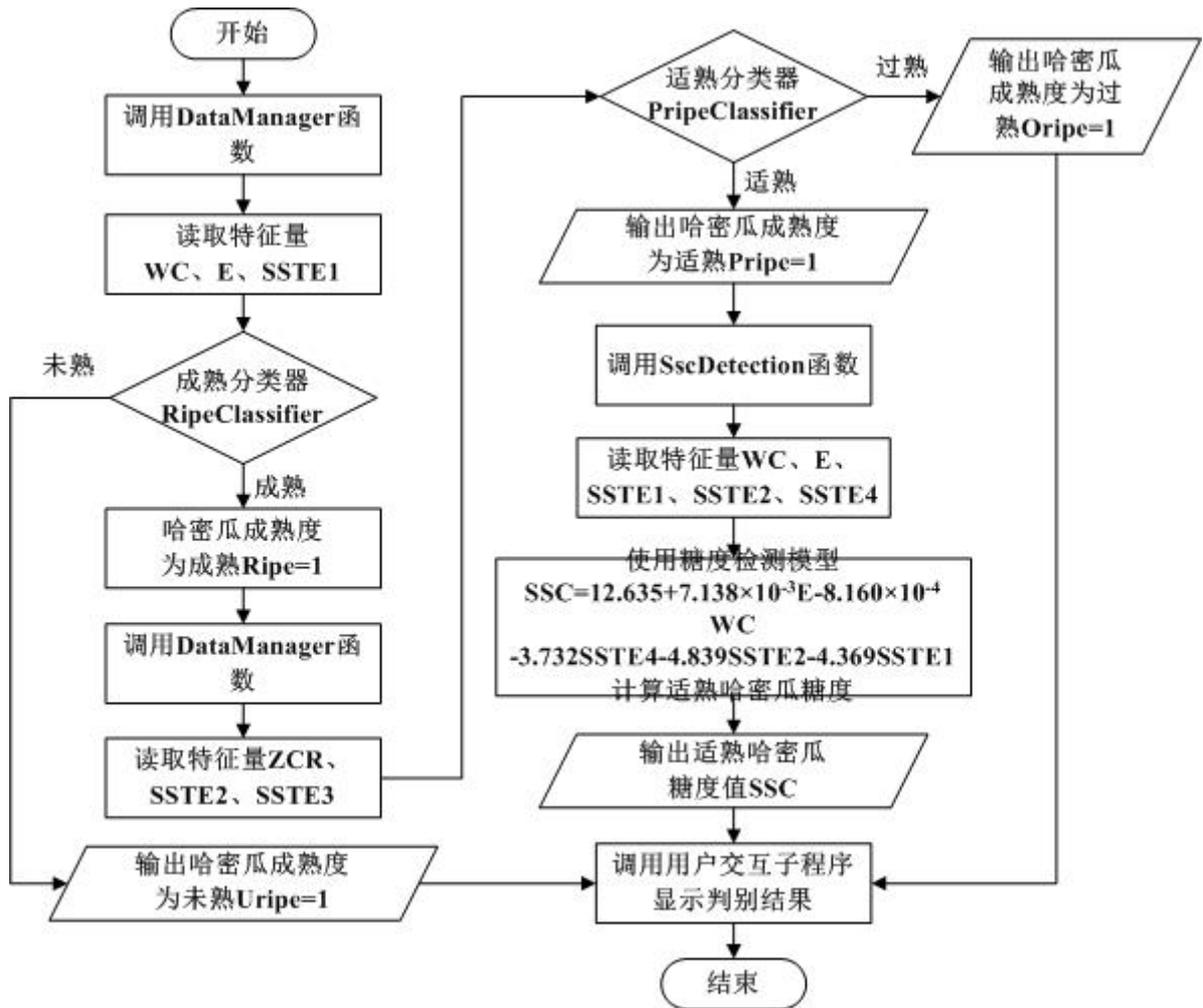


图10

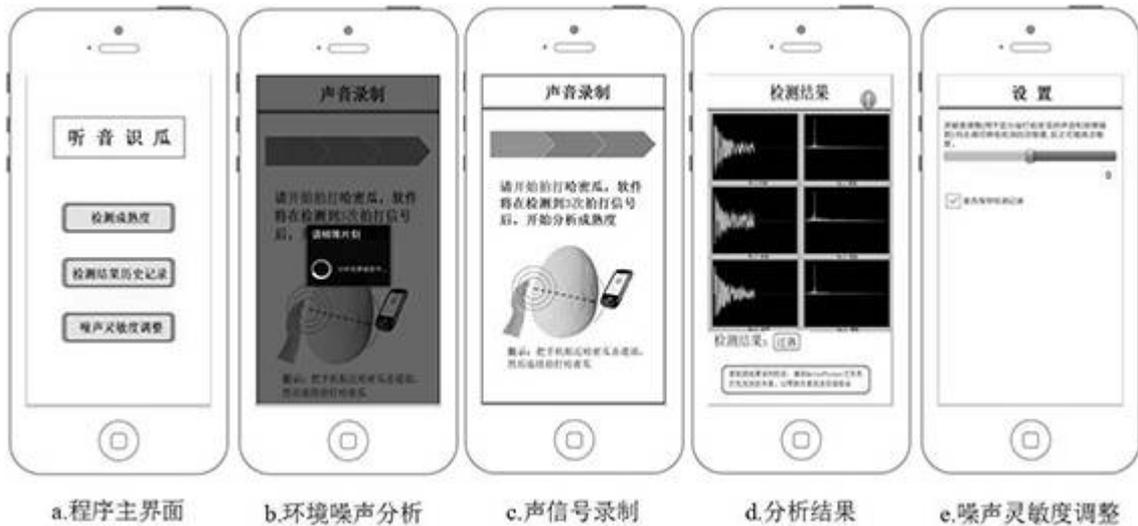


图11

总体判别准确率 (90.9%)

实际结果	未熟	93.3	6.7	0
	适熟	0	96.0	4.0
	过熟	0	20.0	80.0
		未熟	适熟	过熟

判别结果

图12