

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.07.013

# 小麦不完善粒的高光谱图像检测方法研究\*

董晶晶<sup>1</sup> 吴静珠<sup>1</sup> 刘倩<sup>1</sup> 刘翠玲<sup>1</sup> 毛文华<sup>2</sup> 张银桥<sup>2</sup>

(1. 北京工商大学计算机与信息工程学院 食品安全大数据技术北京市重点实验室 北京 100048;

2. 中国农业机械化科学研究院 北京 100083)

**摘要:**为了实现高光谱图像处理技术对小麦不完善粒的快速准确鉴别,研究了一种基于小麦不完善粒高光谱图像的光谱和图像特征,结合多分类支持向量机的不完善粒的识别方法。实验采集小麦不完善粒的高光谱图像,对图像进行图像增强、阈值分割等处理后,提取7个纹理特征和5个形态特征作为分类器的输入,应用多分类支持向量机分别建立并比较基于光谱特征、基于图像特征以及基于光谱和图像特征组合的不完善粒识别模型的分类精度。基于光谱特征建立的4分类模型总识别率达94.73%,黑胚粒与正常粒的识别率分别为100%、98.63%,效果较好,但虫蚀粒与破损粒的识别精度均低于90%;基于图像特征的不完善粒识别率相对较低;融合光谱与图像特征建立的4分类支持向量机模型总识别率达97.89%,其中虫蚀粒识别率从89.79%提高到95.91%,破损粒识别率从84%提高到94%,识别效果最佳。实验结果表明,高光谱成像技术可以快速、无损鉴别单籽粒小麦不完善粒,该技术在小麦种子质量快速、高通量、无损检测领域具有的应用潜力。

**关键词:** 高光谱成像;光谱特征;图像特征;不完善粒;支持向量机

中图分类号: S24 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 210.3030

## Research on hyperspectral image detection method of wheat unsound kernel

Dong Jingjing<sup>1</sup> Wu Jingzhu<sup>1</sup> Liu Qian<sup>1</sup> Liu Cuiling<sup>1</sup> Mao Wenhua<sup>2</sup> Zhang Yinqiao<sup>2</sup>

(1. Beijing Key Laboratory of Big Data Technology for Food Safety, School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to identify wheat unsound kernel by hyperspectral image processing technology quickly and accurately, a detection method was researched based on spectral and image feature of wheat unsound kernel combined with multi-classification support vector machine. The hyperspectral images of wheat unsound kernels were collected and processed by image enhancement and threshold segmentation, which were used to extract 7 texture features and 5 morphological features as input to the classifier. The identification accuracy of model was established by multi-class support vector machine and then compared with different feature combination (spectral features, image features, spectral and image feature). The total identification rate of the 4 classification models based on spectral features was 94.73%, and the identification rate of black germ kernel and sound kernel was 100% and 98.63% respectively, but the identification rate of insect-damaged kernel and broken kernel were less than 90%. The recognition rate of unsound kernel based on image feature was relative lower. And when the spectral and image features were integrated, the recognition rate of the four-class support vector machine model was 97.89%, the recognition rate of insect-damaged kernel was increased from 89.79% to 95.91%, and the recognition rate of broken kernel was increased from 84% to 94%. The results show that the hyperspectral image can quickly and non-destructively identify the unsound kernel of single grain wheat, which has potential application on rapid, high-through and non-destructive detection of wheat seed quality.

**Keywords:** hyperspectral image; spectral feature; image feature; unsound kernel; support vector machine (SVM)

收稿日期:2017-02 Received Date: 2017-02

\* 基金项目: 国家国际科技合作专项(2014DFA31660)、土壤植物机器系统技术国家重点实验室开放课题(2014-SKL-05)、河北省科技计划(16272916)资助项目

## 1 引言

在小麦的市场交易中,不同等级的小麦决定着不同的价位。因此针对小麦质量进行等级划分对于保障我国粮食安全、实现按质论价、满足市场需求具有极为重要的意义。根据我国小麦国家标准(GB1351-2008)规定的小麦等级可知,小麦不完善粒是决定小麦等级的重要指标之一。小麦不完善粒<sup>[1]</sup>是指受到损伤但尚有使用价值的小麦籽粒,包括虫蚀粒、病斑粒(赤霉病粒及黑胚粒)、破损粒、生芽粒和霉变粒。不完善粒因受到机械损伤或生理变化和微生物的侵害,严重影响小麦的食用品质和安全储存<sup>[2]</sup>。国标规定的小麦不完善粒检测<sup>[3]</sup>主要由人工感官检验完成,存在主观性强、工作量大、费时费力且可重复性差等缺点,难以适应粮油检验向快速无损检测方向发展的需求。

随着信息技术的迅猛发展,机器视觉技术及近红外光谱分析技术作为快速无损检测的新方法被广泛应用到农产品品质检测及质量分级之中。张玉荣等人<sup>[4]</sup>研究了一种基于小麦不完善粒图像特征和BP神经网络的不完善粒识别方法,平均判别正确率达到93%,但虫蚀粒的识别率仅为85%。印松杨<sup>[5]</sup>研究利用机器视觉技术进行玉米特征提取分析,对于并肩杂、病斑粒、孔洞虫蚀粒的二分类识别率分别达到100%、99.5%、100%,但是对于表层虫蚀粒的识别还没找到合适的方法。Liu等人<sup>[6]</sup>采集虫蚀、霉变等受损大豆的彩色图像,提取8个形态特征、3个颜色特征和3个纹理特征作为BP神经网络的输入,经5次重复测试,正常粒、霉变粒、虫蚀粒、表皮损伤粒及破损粒的平均识别率分别为99.24%、98.2%、96.4%、85.6%、92.4%和85.2%。Shahin等人<sup>[7]</sup>采集加拿大东都软质红小麦在400~1 000 nm及1 000~2 500 nm波段范围内的光谱,建立偏最小二乘模型识别小麦是否被霉菌感染,识别率可达96%。综上研究,机器视觉技术通过图像处理来提取外观特征参数进行有效识别,但对于外表特征差异不显著的样本识别效果往往不太理想,而近红外光谱技术可以通过光谱解析来判别样本内部品质变化,但是无法获取待测样本的外观特征,对于单籽粒样本处理能力较弱。

高光谱成像技术是近年来出现的一种图谱合一的无损检测新方法,它兼具机器视觉和光谱分析技术的优点,既能获取被测样品的外部图像信息,又能获得样品的内部化学信息,具有更高的分析检测潜质。目前高光谱成像技术已在农产品的内外品质检测,损伤识别以及农作物的生产信息获取等领域成为研究热点<sup>[8-9]</sup>。已有研究将高光谱成像技术成功应用于小麦虫蚀粒识别<sup>[10]</sup>、小麦镰刀菌素感染粒识别<sup>[11]</sup>、小麦籽粒赤霉病识别<sup>[12]</sup>、小

麦及水稻种子品种分类<sup>[13-14]</sup>等。上述研究针对单一指标的识别都取得了较好的研究结果,但是小麦不完善粒包括了黑胚粒、虫蚀粒和破损粒等多种类型,如何应用高光谱成像技术结合模式识别方法<sup>[15]</sup>,全面判别单粒小麦是否为不完善粒,还有待具体研究。

本研究提出以小麦不完善粒的快速、多类别(黑胚粒、虫蚀粒和破损粒)识别为目标,应用高光谱成像技术结合多分类支持向量机建立单粒小麦不完善粒的综合识别模型,探索高光谱成像技术在小麦不完善粒快速、高通量、无损识别中的应用潜力。

## 2 材料与方法

### 2.1 实验材料

实验所用小麦样本由中国农业科学院作物科学研究所提供。分别选出正常粒样本486个、黑胚样本127个、虫蚀粒样本149个及破损粒样本170个作为实验样本,置于4℃左右冰箱冷藏。

### 2.2 高光谱图像采集与标定

选用美国SOC710VP便携式高光谱成像光谱仪作为高光谱图像采集系统,如图1所示。采集过程及仪器参数设定如下:每类小麦样本以10×10网格状放置于样品台采集其高光谱图像,图像分辨率696×520 pixel,光谱扫描范围493~1 106 nm,扫描速度30 line/s,波段间隔5.1 nm,波段数116个。



图1 SOC710VP高光谱图像采集系统

Fig.1 SOC710VP hyperspectral image collection system

为了减少光照分布不均引起的噪声及误差,对采集的高光谱图像按下式进行黑白标定:

$$I_{\text{correction}} = \frac{I_{\text{raw}} - I_{\text{dark}}}{I_{\text{white}} - I_{\text{dark}}} \quad (1)$$

式中: $I_{\text{correction}}$ 为校正后的光谱图像, $I_{\text{raw}}$ 为原始光谱图像, $I_{\text{white}}$ 为扫描反射率为99%的标准白板得到的白板标定图像, $I_{\text{dark}}$ 为关上光源拧上镜头盖后采集的黑板标定图像。

### 2.3 高光谱图像分割

为了实现小麦种子的单粒识别,需要将种子图像从背景中分割出来。选择样本与背景区分明显的波段下(实验选取波段为886.7 nm)利用最大方差自动取阈

法<sup>[16]</sup>提取样本轮廓。提取过程中发现,不完善粒,如黑胚粒,由于胚部灰度与背景极为相似,分割后易造成局部信息丢失,如图2(a)、(b)所示,因此需要对原始图像进行图像增强<sup>[17-18]</sup>。图2(c)、(d)所示分别为黑胚粒图像增强及阈值分割后的结果。对比可知,图像增强结合最大方差自动取阈法较好地提取了小麦种子的轮廓图像,为后续的特征提取提供了保证。

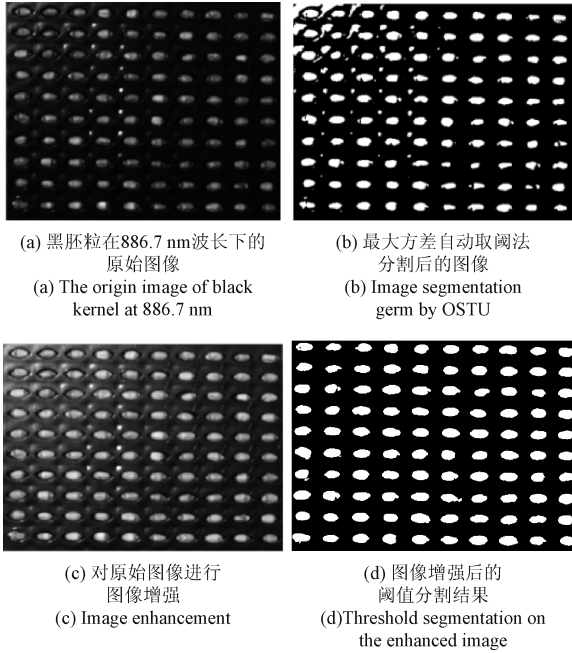


图2 黑胚粒高光谱图像

Fig. 2 Hyperspectral image of black kernel

### 2.4 数据处理

#### 2.4.1 光谱特征提取

为使所提取的光谱具有较强的代表性,选取籽粒样本全区作为感兴趣区。按照上述方法提取每粒小麦种子的轮廓,依次在116个波段下提取样本轮廓范围内的反射率平均值构成该籽粒样本的光谱信息。图3所示为4种类型籽粒的平均光谱图。高光谱仪在其测量临界区

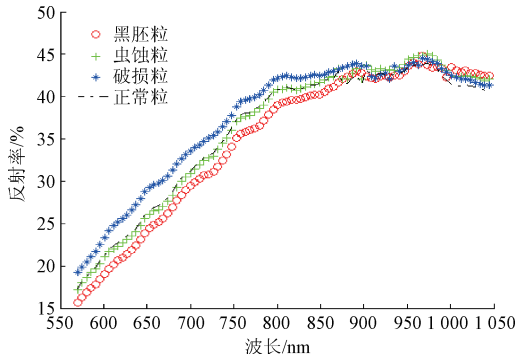


图3 4种类型籽粒的平均光谱图

Fig. 3 The average spectrum of four types kernels

有较强的机器噪声,因此截去两端噪声严重波段,取569.7~1 045.0 nm范围内90个波段的光谱进行分析。

#### 2.4.2 图像特征提取

小麦各类型不完善粒在外观、颜色、光滑度等方面均存在明显差异,而本文获取的小麦高光谱图像中很难体现颜色特征,因此从纹理、形态两方面提取特征。

纹理是图像的一种局部结构化特征,反映了目标图像灰度的性质及其空间拓扑关系。研究采用的基于统计特性的灰度共生矩阵法(gray-level co-occurrence matrix, GLCM)是目前应用最广泛、效果最好的一种纹理分析方法。常用的共生矩阵参数主要有同质度,三阶矩,角二阶矩,熵和对比度共5个。因此,研究选取上述5个共生矩阵参数以及两个直方图参数(均值和方差)表征纹理特征。均值反映了像素灰度的平均大小,标准差是反映像元值与均值偏差的度量,同质度是反映图像纹理均匀性的度量,三阶矩是反映均值的对称性的度量,角二阶矩是反映图像灰度分布均匀性的度量,熵是反映图像具有的信息量的度量,对比度是反映了图像中局部纹理的变化程度。

文献[12]指出,绿色分量图像包含对各类型不完善粒识别的有用信息,因此,本研究对546.1 nm(绿基色光波长)下的图像提取上述7个纹理特征参数。各类型籽粒的纹理特征值如表1所示,可以看出,不同类型的小麦不完善粒纹理特征存在明显差异,如破损粒的标准差、三阶矩、对比度均明显高于其他类型籽粒,虫蚀粒、黑胚粒的角二阶矩明显低于破损粒和正常粒,而黑胚粒的熵值明显高于其他类型籽粒,综上所述,纹理特征可以作为识别小麦不完善粒的一个依据。

表1 各类型不完善粒纹理特征值

Table 1 The texture features of a variety of unsound kernel in wheat

参数	黑胚粒	虫蚀粒	破损粒	正常粒
均值	6.373 1	6.329 6	7.050 2	6.156 4
标准差	15.255 7	15.267 5	17.283 3	14.887 0
同质度	0.003 7	0.003 7	0.004 9	0.003 5
三阶矩	0.151 0	0.147 7	0.248 8	0.128 6
角二阶矩	0.668 2	0.693 9	0.704 8	0.701 5
熵	1.733 5	1.585 0	1.547 4	1.534 3
对比度( $\times 10^4$ )	2.601 1	3.200 7	4.885 8	3.059 7

形态特征主要描述图像的区域特征和轮廓特征,结合籽粒二值图像提取包括籽粒周长、面积、圆形度、矩形度、伸长度5个反映形态差异的基本物理量作为形态特征。各类型籽粒的形态特征值如表2所示,可以看出,不同类型的小麦不完善粒形态特征存在较明显差异,如黑胚粒的周长、面积均明显高于其他类型籽粒,虫蚀粒的矩

形度高于其他类型籽粒,而正常粒的伸长度明显低于其他类型籽粒,因此,选取形态特征参数对不完善粒进行识别是可行的。

表2 各类型不完善粒形态特征值

Table 2 The morphological features of a variety of unsound kernel in wheat

参数	黑胚粒	虫蚀粒	破损粒	正常粒
周长	93.086 7	88.682 7	87.327 9	88.157 9
面积	396.186 07	362.740 8	348.900 7	352.674 4
圆形度	1.751 6	1.740 2	1.758 4	1.765 8
矩形度	0.770 7	0.785 1	0.774 7	0.778 4
伸长度	0.512 3	0.507 9	0.553 6	0.458 7

## 2.5 模型建立与评价

支持向量机(support vector machine, SVM)的思想是在由核函数确定的特征空间上构造软间隔分离超平面,用正则化因子平衡间隔最大化和训练误差最小化,通过决策面实现样本的二分类。它在解决小样本非线性及高维模式识别中表现出许多特有的优势,具有很好的泛化能力,因此本文选用多类SVM分类器建模。

每类实验样本按照约2:1比例随机划分,最终获得647个训练集样本,285个测试集样本。将以上提取的光谱和图像特征作为分类器的输入,将正常粒、黑胚粒、虫蚀粒和破损粒样本分别标记为1、2、3、4作为输出,训练

建立4分类小麦不完善粒识别模型。SVM分类通过在MATLAB 2014a环境下调用台湾大学林智仁(Lin Chih-Jen)副教授等开发的LIBSVM工具包实现。

## 3 结果与分析

### 3.1 基于光谱特征的小麦不完善粒识别

在建模过程中,合适的预处理方法可以有效地过滤光谱中的噪声信息,保留有效信息,从而减低模型的复杂度,提高模型的稳健性。本文通过比较不同预处理方法对模型精度的影响挑选出最优的光谱预处理方法。

采用SVM建立识别模型时,必须选择合适的核函数。由于RBF核函数作为非线性函数能够减少训练过程中计算的复杂性,故采用RBF作为核函数。另外,SVM模型的惩罚变量 $c$ 和核函数参数 $g$ 决定了模型的学习能力和预测能力,故采用网格法进行参数寻优,其中 $c$ 、 $g$ 的取值范围均设置为 $[2^{-10}, 2^{10}]$ 。基于光谱特征(90维)所建四分类SVM模型的分类识别结果如下表3所示。可以看出,对原始光谱进行标准正态变量变换(standardized normal variate, SNV)预处理后,所建的SVM模型分类效果最佳,预测总识别率达94.73%,黑胚粒及正常粒的识别率分别为100%、98.63%,效果较好,但虫蚀粒及破损粒的识别精度均低于90%,有待进一步提高。

表3 基于光谱特征的四分类SVM模型识别结果

Table 3 Recognition result of 4-class SVM model based on spectrum feature

光谱预处理方法	$c$	$g$	支持向量数	建模集识别率/%	测试集总识别率/%	黑胚粒识别率/%	虫蚀粒识别率/%	破损粒识别率/%	正常粒识别率/%
无	256	0.35	307	87.94	86.67	100	65.31	62	98.63
中心化	256	0.35	307	87.94	86.67	100	65.31	62	98.63
SNV	64	0.5	182	95.83	94.73	100	89.79	84	98.63
一阶导数	64	16	240	87.94	91.58	100	73.47	80	99.31
二阶导数	8	0.25	262	96.29	82.11	100	87.76	68	80.14
7点平滑	64	64	218	91.65	93.33	100	83.67	80	99.31
11点平滑	22.63	0.35	235	97.06	93.68	100	79.59	84	100
15点平滑	128	0.13	172	96.29	93.68	100	81.63	84	99.31

### 3.2 基于图像特征的小麦不完善粒识别

由于不同特征在性质和数值上有较大差异,如果对提取的特征值直接进行组合可能会由于某些特征在综合特征中占较大权重,或者某些特征信息利用的很少而影响建模分类效果。为避免这些情况,特征组合前需进行归一化处理。

将提取的7个纹理特征与5个形态特征归一化后进行融合,得到12维的图像特征,作为SVM分类器的输入,建立模型。模型的建模集识别率为70.79%,对黑胚

粒、虫蚀粒、破损粒、正常粒的识别率分别为85%、6.12%、48%、96.58%,预测总识别率为70.88%。可以看出,图像特征在一定程度上可以反映小麦不完善粒类别的差异,但单独依靠图像特征进行识别时准确度欠佳。

### 3.3 基于光谱和图像特征的小麦不完善粒识别

在分类建模中,样本所包含的特征信息越丰富,分类效果可能会越好。将经SNV预处理后的光谱特征和图像特征归一化后进行组合,并利用SVM建立模型,分类结果如表4所示。与表3对比,可以看出,光谱、纹理特

征组合后,虫蚀粒的识别率从 89.79% 提高到 95.91%,破损粒的识别率从 84% 提高到 90%;而光谱、纹理、形态特征组合后,破损粒的识别率从 84% 提升到 94%。综

上,光谱、纹理、形态三种特征组合后,建立的 SVM 模型对黑胚粒、虫蚀粒、破损粒、正常粒的识别率均在 94% 以上,分类效果最好。

表 4 基于光谱、纹理与形态特征组合的四分类 SVM 模型识别结果

Table 4 Recognition result of 4-class SVM model based on spectrum, texture and morphological features combination

特征	c	g	支持 向量数	建模集 识别率/%	测试集 识别率/%	黑胚粒 识别率/%	虫蚀粒 识别率/%	破损粒 识别率/%	正常粒 识别率/%
光谱	64	0.5	182	95.83	94.73	100	89.79	84	98.63
光谱+纹理	256	0.18	143	97.68	97.54	100	95.91	90	100
光谱+纹理+形态	256	0.13	149	97.53	97.89	100	95.92	94	99.32

考虑到在实际生产与流通中,通常只需要将异常籽粒识别出来即可,因此研究建立了对正常籽粒与异常籽粒进行二分类识别的支持向量机模型(标签 1、2 分别表示异常粒与正常粒,作为模型输出),识别结果如下:建模集总识别率为 96.74%;预测总识别率为 99.30%,其中异常粒、正常粒的识别率分别为 98.56%、100%。图 4 所示直观展示了光谱、纹理、形态特征组合后模型的二分类结果。可以看出,该方法所建模型识别精度高,完全满足国家标准对小麦不完善粒的检测要求。

圆形度、矩形度、伸长度共 5 维形态特征;结合 SVM 模式识别方法比较了不同特征及其组合下的模型分类精度。

实验结果表明,利用光谱特征可以实现黑胚粒与正常粒的识别,但对虫蚀粒与破损粒的识别精度有待提高;而纹理、形态等图像特征在一定程度上可以反映小麦不完善粒类别的差异,但单独依靠图像特征进行识别时准确度欠佳;融合光谱特征与图像特征建立的四分类 SVM 模型对病斑粒、虫蚀粒、破损粒、正常粒的识别率均在 94% 以上,分类效果最佳。综上,利用高光谱成像技术结合多分类支持向量机实现单粒小麦不完善粒的快速、无损、准确识别是切实可行的,且相比于单一特征的识别效果,光谱特征与图像特征组合后所建模型的识别精度更高。该技术的应用探索也表明高光谱成像在小麦质量等级划分和育种等领域具有快速、高通量、无损检测等应用潜力。

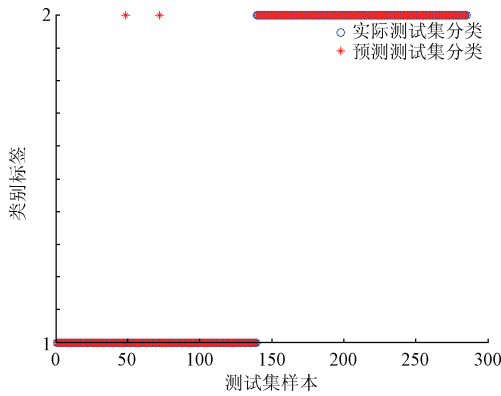


图 4 基于光谱、纹理与形态特征组合的 SVM 二分类模型识别结果图

Fig.4 Recognition result of 2-class SVM model based on spectrum, texture and morphological features combination

### 4 结 论

本文以 486 个小麦正常粒样本、127 个黑胚样本、149 个虫蚀粒样本及 170 个破损粒样本为研究对象,采集其 493~1106 nm 的高光谱图像。通过图像增强的方法滤除图像噪声,提高目标区域对比度,并采用最大方差自动取阀法实现麦粒与背景的分;利用图像处理技术提取 90 维光谱特征,提取均值、标准差、同质度、三阶矩、角二阶矩、熵、对比度共 7 维纹理特征,提取籽粒周长、面积、

### 参考文献

[ 1 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准:小麦,GB1351-2008 [S]. 2008. AQSIQ, SAC. National standard of the people's republic of China:Wheat, GB1351-2008 [S]. 2008.

[ 2 ] 赵增宝,殷树清,常大理,等. 小麦不完善粒的成因及解决办法[J]. 粮食流通技术,2009(5):44-45. ZHAO Z B, YIB SH Q, CHANG D L, et al. Wheat imperfect grain of formation reason and solution [J]. Grain Distribution Technology, 2009(5): 44-45.

[ 3 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准:粮油检验 粮食、油料的杂质、不完善粒检验,GB/T5494-2008[S]. 2008. AQSIQ, SAC. National standard of the people's republic of China: grain and oil inspection of food, oil impurities, unsound kernels inspection, GB/T5494-2008[S]. 2008.

[ 4 ] 张玉荣,陈赛赛,周显青,等. 基于图像处理和神经网络的小麦不完善粒识别方法研究[J]. 粮油食品科

- 技,2014(3):59-63.
- ZHANG Y R, CHEN S S, ZHOU X Q, et al. Identification of unsound kernels in wheat based on image processing and neural network [J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2014 (3): 59-63.
- [5] 印杨松. 机器视觉技术在玉米并肩杂、不完善粒检测中的应用研究[D]. 杭州:浙江大学,2011.
- YIN Y S. Detect impurities and unsound kernel in corn using machine vision [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [6] LIU D J, NING X F, LI Z M, et al. Discriminating and elimination of damaged soybean seeds based on image characteristics [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2015 (60): 67-74.
- [7] SHAHIN M A, SYMONS S J, HATCHER D W. Quantification of mildew damage in soft red winter wheat based on spectral characteristics of bulk samples: A comparison of visible-near-infrared imaging and near-infrared spectroscopy [J]. *Food Bioprocess Technology*, 2014(7):224-234.
- [8] 张保华,李江波,樊书祥,等. 高光谱成像技术在果蔬品质与安全无损检测中的原理及应用[J]. *光谱学与光谱分析*,2014,34(10):2743-2751.
- ZHANG B H, LI J B, FAN SH X, et al. Principles and applications of hyperspectral imaging technique in quality and safety inspection of fruits and vegetables [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2014, 34 (10): 2743-2751.
- [9] 彭彦昆,张雷蕾. 农畜产品品质安全高光谱无损检测技术进展和趋势[J]. *农业机械学报*,2013,44(4): 137-145.
- PENG Y K, ZHANG L L. Advancement and trend of hyperspectral imaging technique for nondestructive detection of agro-product quality and safety [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013,44 (4): 137-145.
- [10] SINGH C B, JAYAS D S, PALIWAL J, et al. Identification of insect-damaged wheat kernels using short-wave near -infrared hyperspectral and digital colour imaging[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010,73(2): 118-125.
- [11] DELWICHE S R, KIM M S, DONG Y H. Fusarium damage assessment in wheat kernels by vis/NIR hyperspectral imaging[J]. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 2011, 5(2):63-71.
- [12] 梁琨,杜莹莹,卢伟,等. 基于高光谱成像技术的小麦籽粒赤霉病识别[J]. *农业机械学报*,2016,47(2): 309-315.
- LIANG K, DU Y Y, LU W, et al. Identification of fusarium head blight wheat based on hyperspectral imaging technology [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47 (2): 309-315.
- [13] 董高,郭建,王成,等. 基于近红外高光谱成像及信息融合的小麦品种分类研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2015,35(12):3369-3374.
- DONG G, GUO J, WANG CH, et al. The classification of wheat varieties based on near infrared hyperspectral imaging and information fusion [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2015, 35(12): 3369-3374.
- [14] 邓小琴,朱启兵,黄敏. 融合光谱、纹理及形态特征的水稻种子品种高光谱图像单粒鉴别[J]. *激光与光电子学进展*,2015, 52 (2):128-134.
- DENG X Q, ZHU Q B, HUANG M. Variety discrimination for single rice seed by integrating spectral, texture and morphological features based on hyperspectral image [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2015, 52(2): 128-134.
- [15] 李铁,孙劲光,张新君,等. 高光谱遥感图像空谱联合分类方法研究[J]. *仪器仪表学报*, 2016, 37(6): 1379-1389.
- LI T, SUN J G, ZHANG X J, et al. A spectral-spatial joint classification method of hyperspectral remote sensing image [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2016, 37 (6): 1379-1389.
- [16] 王星,宗凯. 基于局部熵的图像分割算法研究与实现[J]. *电子测量技术*,2016,39(12):168-171
- WANG X, ZONG K. Research and implementation of image segmentation algorithm based on local entropy [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2016, 39(12): 168-171.
- [17] 梁琳,何卫平,雷蕾,等. 光照不均图像增强方法综述[J]. *计算机应用研究*,2010,27(5):1625-1628.
- LIANG L, HE W P, LEI L, et al. Survey on enhancement methods for non-uniform illumination image [J]. *Application Research of Computers*, 2010, 27 (5): 1625-1628.
- [18] 代雷,吴迪,张健. 基于OpenCV视觉库的ESPI图像增强技术研究[J]. *电子测量与仪器学报*, 2013, 27(10):975-979.
- DAI L, WU D, ZHANG J. Study on ESPI image enhancement technology based on Open CV [J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrument*, 2013, 27(10): 975-979.

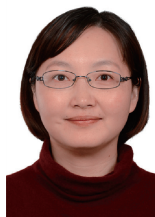
## 作者简介



董晶晶,1992年出生,2015年毕业于唐山师范学院,现就读于北京工商大学,在读研究生,主要研究方向为分子光谱技术在食品品质快速检测中的应用研究。

E-mail:2426540132@qq.com

**Dong Jingjing** was born in 1992, graduated from Tangshan Normal College in 2015. She is a M. Sc. candidate in Beijing Technology and Business University now. Her main research interest focuses on food quality detection using molecular spectral technology.



吴静珠(通讯作者),分别在2001年、2006年于中国农业大学获得学士学位和博士学位,现为北京工商大学副教授,主要研究方向为分子光谱成像技术在农产品品质快速检测中的应用研究。

E-mail:pubwu@163.com

**Wu Jingzhu** (Corresponding author) received B. Sc. and Ph. D. both from China Agricultural University in 2001 and 2006, respectively. Now she is associate professor in Beijing Technology and Business University. Her main research interests focus on agricultural products quality detection using molecular spectral imaging.

## NI 宣布推出第二代矢量信号收发仪的基带版本， 以应对最苛刻的收发仪测试应用

全新的基带矢量信号收发仪具有 12 倍的带宽和更大型的用户可编程 FPGA,而且体积缩小了一半

NI(美国国家仪器公司,National Instruments,简称NI)作为致力于为工程师和科学家提供解决方案来帮助他们应对全球最严峻的工程挑战的供应商,今日宣布推出第二代矢量信号分析仪(VST)的基带版本。PXIe-5820模块是业界首款具有1GHz复杂I/Q带宽的基带VST,旨在解决最具挑战性的RF前端模块和收发器测试应用需求,如包络跟踪、数字预失真和5G测试。

NI的射频和无线技术副总裁 Charles Schroeder 表示:“2016年,NI推出了具有1GHz的瞬时带宽的第二代VST射频款,引起了业界的一次巨大反响。第二代VST的基带款将再次引起业界的反响。工程师可以结合LabVIEW系统设计软件使用基带VST,以应对收发仪测试应用的不断变化和升级的需求。工程师可以利用NI VST的软件设计架构来加快设计步伐,降低测试成本以及解决以前传统测试方法无法解决的测量问题。”

PXIe-5820将宽带I/Q数字化仪、宽带I/Q任意波形发生器和高性能用户可编程FPGA组合到一个2插槽PXI Express模块中。基带VST具有1GHz的复杂I/Q带宽,适用于无线和蜂窝芯片组的基带I/Q测试以及功率放大器数字预失真波形的包络跟踪,以及新无线标准(如5G、802.11ax和LTE-Advanced Pro)的生成和分析等各种应用。

### 产品特性:

●1GHz的复杂I/Q瞬时带宽,用于生成和分析信号

●高测量精度,可测量-54dB的802.11ax误差矢量幅度(EVM)性能

●基带2通道差分I/Q,具有4V<sub>pp</sub>差分输入和2V<sub>pp</sub>差分输出摆幅

●基于FPGA的快速测量,能够以10倍的速度进行测量,具有高度优化的测量软件

●紧凑的尺寸,基带VST和RF VST紧密同步,在PXI组成结构中可允许2x2、4x4、8x8或更大型的多输入多输出(MIMO)配置

●出色的本底噪声,无杂散动态范围

●用户可编程的FPGA,工程师可以进行自定义来添加针对特定应用的功能

●易于编程,RF和基带VST之间具有一致的软件体验

NI RF研发首席架构师 Ruan Lourens 表示:“我们特意对原有软件设计架构进行升级,开发了基带VST。我们已经设法优化每一个可能的领域,从热和电气领域到数字信号处理,成功地在小巧的封装中提供了1GHz的复杂I/Q带宽。基带VST可以与PXIe-5840 RF VST紧密同步至亚纳秒精度,为无线芯片组的RF和基带差分I/Q测试提供完整的解决方案。”

基带VST是NI平台和生态系统的重要组成部分,可帮助工程师构建更智能的测试系统。这些测试系统将受益于从直流到毫米波等600多个PXI产品。它们采用PCI Express第三代总线接口,具有高吞吐量数据移动,同时具有子纳秒级同步以及集成的定时和触发。LabVIEW和TestStand软件环境的高效生产力,以及一个由合作伙伴、附加IP和应用工程师组成的充满活力的生态系统,可帮助用户大幅降低测试成本,缩短上市时间,开发面向未来的测试设备来应对未来的种种挑战。

如需了解更多关于VST的信息,请访问[www.ni.com/vst/](http://www.ni.com/vst/)。