

农产品品质检测系统的高光谱成像控制软件设计*

赵娟¹ 彭彦昆¹ 郭辉^{1,2} 陶斐斐¹ 张雷蕾¹

(1. 中国农业大学国家农产品加工技术装备研发分中心, 北京 100083;

2. 新疆农业大学机械交通学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 利用 VS2010 与 Matlab 混合编程方法设计了用于农产品品质指标检测的高光谱成像在线检测系统的控制分析软件, 包括仪器参数设置模块、信号检测与控制模块和数据采集与分析模块, 完成了图像采集、图像合成、运动控制、数据提取分析及存储、显示功能。该控制分析软件设计提高了高光谱成像技术应用的实用化, 实现了对农产品品质指标的无损、实时、快速检测分析。

关键词: 农产品 品质检测 高光谱成像 在线系统 控制分析软件

中图分类号: O657.3; TP274+.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)09-0210-06

引言

高光谱成像检测技术应用于农产品的检测中已被广泛研究^[1-3]。该技术不仅可以获得个体差异较大的农产品外部特征, 还可同时获得其复杂多变的内部理化指标, 真正达到了对农产品内外品质进行多指标同时检测的目的^[4]。近几年, 利用高光谱成像技术检测农产品主要涉及水果的品质无损检测^[5-7]、蔬菜品质无损检测^[8-9]、粮食作物无损检测^[10]、肉品无损检测^[11-13]等。高光谱成像技术可以充分利用光线与样品表面作用的不同方式(反射、散射、投射等), 获取样品表面的相关光谱信息, 实现样品的无损检测。相比传统的方法, 高光谱技术无损、快速、方便, 减少了化学试剂对环境污染及对操作人员的危害。但是, 大多数基于高光谱成像技术对农产品的研究, 都是局限在实验室研究的基础上, 没有将其应用到实际生产中, 同时, 研究中多数采用仪器本身自带软件进行图像采集或是光谱曲线获取, 并将实验数据保存, 最后再通过其他的数据分析工具进行建模分析。大批的建模分析数据只是基于理论研究, 没有实用化到具体的检测设备中, 因此也不能在实际中实时给出检测结果。

本文在基于高光谱成像检测技术对农产品品质指标检测的基础上, 对开发的实时在线检测硬件设备, 利用 VS2010 语言平台调用 Matlab 数据分析动态链接库, 开发用于光谱图像采集、信号检测、数据

提取与分析的高光谱成像检测农产品品质系统的控制分析软件, 实现采集控制、图像合成、数据存储、分析和显示, 并实时将检测结果反馈给控制系统执行机构, 对样品进行分选。

1 系统硬件组成

农产品品质参数的高光谱成像检测系统, 主要检测单元的硬件构成如图 1 所示, 检测部分的硬件装置主要由 CCD 相机、成像光谱仪、聚焦镜头、数据采集卡、卤钨灯光源、传感器、移动载物平台、计算机、显示器等组成。这些硬件装置用来获取样品光谱图像信息, 然后再利用图像数据的处理方法得到样品的信息, 预测样品的一些品质参数, 实现对样品的无损检测。

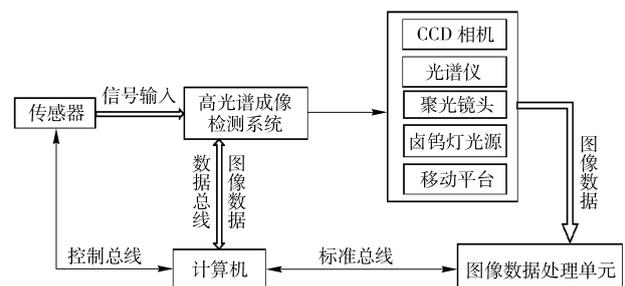


图1 高光谱检测单元的硬件构成示意图

Fig. 1 Hyperspectral hardware configuration diagram of the detection unit

整个实用化在线检测硬件如图 2 所示, 硬件装置除了检测单元包含的硬件装置外, 还包括了检测

收稿日期: 2014-04-20 修回日期: 2014-05-21

* 公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201003008)

作者简介: 赵娟, 博士生, 主要从事农产品品质无损检测与装备研究, E-mail: cau_zhaojuan@gmail.com

通讯作者: 彭彦昆, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品品质无损检测与装备研究, E-mail: ypeng@cau.edu.cn

样品的上料装置和样品分选装置,3个部分的整合实现了在线检测。样品上料单元主要包括样品的定位装置和输送装置,分选单元包括样品的剔除装置和收纳装置,这2个单元的硬件装置设计,对于不同的样品或不同的检测参数有所不同。光谱仪的波段范围、CCD的分辨率、光源的功率以及光源照射到样品表面的角度,对于不同的样品也不相同,应用中需要根据实际的研究情况而确定最佳的设置参数。

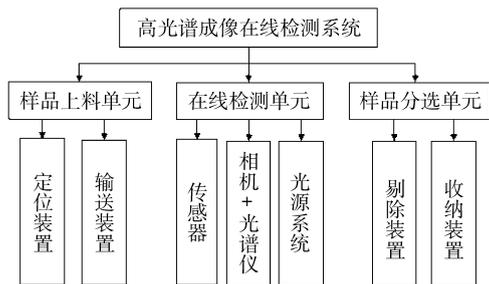


图2 在线检测系统硬件构成示意图

Fig. 2 On-line testing system hardware configuration diagram

2 软件功能模块设计

系统以PC机为硬件平台,操作系统为Windows XP系统。开发环境为VS2010语言开发平台,软件的检测分析功能通过VC++与Matlab两者的混合编程方式实现。

VC++开发的系统具有界面友好、代码效率高、执行速度快等一系列优点,但是存在数据处理和结果显示方面的不足^[14-15];Matlab强大的数据处理工具箱,可以为高光谱的图像处理、数据分析提供一个很好的平台,但是Matlab存在可视化和数据采集方面的不足。软件系统设计采用VC++调用Matlab封装好的函数库可以直接对复杂的大数据进行分析,有效解决了这两方面的问题。相比用VC++而言,Matlab数据处理简单、方便,代替了VC++冗长的代码。因此采用VC++调用Matlab数据分析方法生成的动态链接库,可以使程序脱离Matlab,减少文件外部存储空间的占有量,实现对数据分析的高效操作。但是Matlab都是以矩阵为基本的操作单元,因此利用Matlab来分析高光谱的图像,实质就是利用其每个图像点对应的像素灰度数据来进行处理。

系统软件设计采用开放式、模块化、集成化的思路,根据软件功能需求分析设计了如图3所示的软件结构模式。检测系统主程序包括仪器参数设置、控制模块、数据采集与分析3个模块,各个功能模块又根据执行功能的不同分为若干个子功能模块。

用VC++语言编写软件界面,实现图像的采集

与显示、信号检测与控制及数据管理等功能,通过VC++调用Matlab动态链接库,实现光谱预处理、数学模型运算及参数预测等数据处理功能。

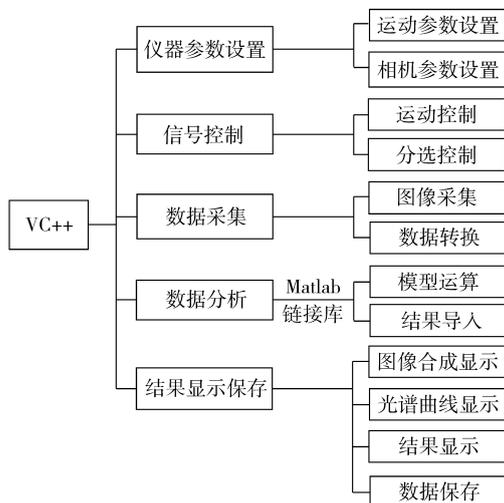


图3 高光谱成像检测软件控制总体功能框图

Fig. 3 General functions flowchart of hyperspectral imaging control and detection software

2.1 仪器参数设置模块设计

系统在工作之前,需要对软件系统进行初始化,同时设置相关硬件设备的工作参数。针对不同的检测样品,硬件系统的工作参数存在一定的差异,因此需要对仪器的工作参数进行设置。本系统的仪器参数设置模块主要包含相机参数设置、最佳运动参数计算及设置2部分。对相机的各个参数进行设置,以满足数据采集要求,主要参数包括相机曝光时间、延迟时间、感兴区域设置、图像采集方式设置等;运动参数计算:主要通过光谱仪的狭缝宽度、光学镜头视场角以及样品的尺寸,计算出曝光时间、镜头与样品的距离、输送装置的平动速度等主要工作参数,根据这些参数对运动控制器进行设置。

由于受硬件系统误差的影响,参数计算所得到的高光谱成像装置的扫描线宽度与实际工作中所拍摄到的扫描线宽度之间存在一定的误差,连续扫描过程中误差会产生积累从而对光谱图像信息采集的精度造成影响。因此,需要对各主要参数进行反复调试,对计算出的镜头与样品之间的高度、输送带运行速度进行微小的校正,使系统的运行达到一个较优的状态。

2.2 控制模块设计

对于在线实用化的高光谱成像检测系统,控制模块由3个子模块来实现:上料单元模块、在线检测控制模块、分选单元模块,如图4所示。

系统上料单元输送装置的速度与样品检测的速度相关,通过传感器检测信号,确保上料单元的输送速度是否调整到与检测速度一致。对于不同的检测

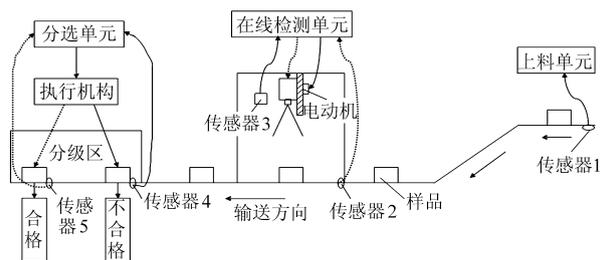


图4 信号检测与控制模块示意图

Fig. 4 Flowchart of signal detection and control module

样品应当选择合适的定位装置,以确保样品在检测过程中不发生相对运动,这样能够保证采集到清晰的样品图像。为了避免样品之间互相影响,必须控制样品之间的间距。

由于不同样品到在线检测单元镜头的最佳检测距离不同,因此需要对样品到镜头的高度进行调整和校正。计算机通过传感器检测到实际高度后,与仪器参数模块中设置的高度比较后进行调整。高度调整过程如下:首先由运动控制器发送指令打开高度传感器,计算机读取高度值并将该值与设定值进行比较得出需要调整的高度值以及调整方向;然后计算机将结果发送给运动控制器,由运动控制器对样品的高度进行调整;高度调整完成后需要关闭高度传感器,以免传感器发出的激光光线对光谱图像数据产生影响。高度调整到位的样品在经过检测区域时,位置传感器会触发高光谱成像装置采集样品的光谱图像信息,计算机获取光谱图像数据后会给出用户所选指标参数的预测值及分级结果。

分选单元主要是根据在线检测单元得出的分级结果,将合格样品与不合格样品进行归类处理。剔除装置可对不合格样品进行剔除,合格产品则直接进入入到收纳装置中等待包装。

2.3 数据采集与分析模块设计

2.3.1 图像数据合成

高光谱采集的样品图像,实际上是一个由样品的平面空间和光谱维度共同构成的数据立方体。高光谱图像数据采集方式有3种:点扫描、线扫描及面扫描^[16]。本系统采用推扫式的高光谱数据采集方式,借助于样品输送装置的移动实现样品表面扫描线图像的逐个获取,然后将这些扫描线图像进行合成,得到完整的样品高光谱图像。线扫描的采集及合成过程如图5所示,其中 x 代表样品移动的方向, y 代表扫描线的空间位置, λ 表示波长。

线扫描图像合成如图5a所示,高光谱成像系统是利用一个入射狭缝,在垂直于狭缝方向使得样品与狭缝实现一维相对运动,可以获得样品表面一条线的图像信息,在 x 方向选择向右或是向左移动,对

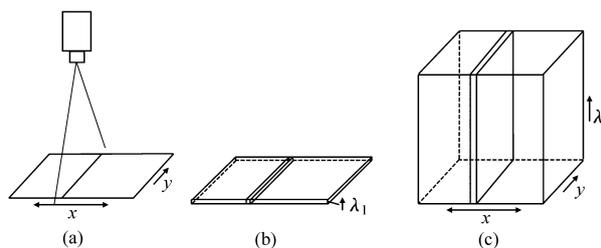


图5 图像合成过程示意图

Fig. 5 Schematic of image synthesis process

(a) 样品表面一条线的图像信息

(b) λ_1 处一条扫描线的数据合成

(c) 一条扫描线的所有波段处图像合成

物体表面逐行扫描,扫描 N 次后(N 根据样品的大小决定),在每一个波段处,如图5b的 λ_1 处每一条扫描线的数据经过合成后变为为了一个长方体块,对应到光谱仪的波段数,如图5c所示,所有扫描线的所有波段处的长方体块合成为一个二维平面。因此 N 条扫描线的图像数据合成后将是一个三维立方体数据块,即“hypercube”图像。对应到CCD探测器的靶面上,一个坐标轴代表扫描线图像的空间轴,另一个坐标轴代表光谱轴。图像上任意点 (x,y) 的灰度,代表该点在对应扫描线 x 点上、在波长 y 处的反射强度。

2.3.2 图像数据校正

基于高光谱成像技术搭建的检测系统,选择的CCD相机分辨率动态范围比较大,才能满足高光谱成像要求,因此相机的位数多为12位或是16位,即4096(2^{12})或是65536(2^{16})黑白灰度水平,然而显示器显示一般总是限制在8位,即 2^8 灰度水平。因此,为了在系统界面上实时显示采集的图像,必须转换为8位灰度图像显示。CCD相机采集的图像的实际大小为分辨率像素大小,然而软件系统界面显示的8位图像控件大小有限,当图像太大,而显示窗口太小,窗口在发生重绘更改大小时,图像的像素值被压缩,图像产生失真,出现如图6a中的黑色光晕。因此,在软件界面的开发中,需要对显示在界面的8位图像进行平滑修正,删除所有消除的像素行,不保留其信息。图像校正后的效果如图6b所示,窗

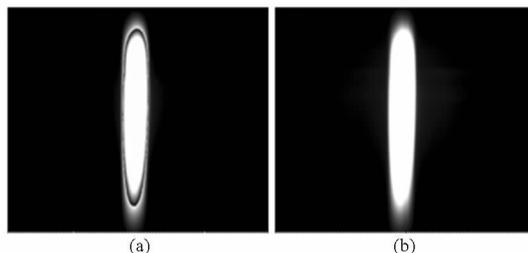


图6 失真图像校正

Fig. 6 Distorted image correction

(a) 原始位图 (b) 校正后位图

口中图像的轮廓也不会发生大的变化,保持与原始轮廓相同。

2.3.3 ROI 选取与图像平均

软件数据处理模块中,为了消除随机噪声对信号采集的影响,常常采用多次采集一条扫描线的图像信息进行平均所得到的数据作为样品表面上该扫描线的实际图像,进行图像保存或数据分析。

为了在高光谱图像数据的采集,减少数据量、提高系统运行速度,可以在样品表面上选取感兴趣区域(Region of interest, ROI)从而可以大幅减小所采集的图像区域面积,提高光谱图像数据的处理效率。

以上2个功能的添加,优化了光谱图像的信息,提高了系统的可用性,降低了光谱数据的容量,提升了数据处理的速度。

2.3.4 数据处理分析

对于采集的样品反射图像,需要根据检测样品的参数指标来选择合适的分析方法,利用统计学和化学计量学的方法来分析样品的反射光谱信息,或是利用图像处理的方法来获取样品图像信息。

软件设计开发中,考虑到噪声对图像信号的影响,在高光谱图像采集之前必须进行高度校正和光谱校正^[17-18]。如果利用样品的光谱信息来检测指标参数,需要采集暗电流图像和白板的图像,在数据分析中得到样品的相对反射光谱信息。

$$R = \frac{R_s - R_d}{R_w - R_d}$$

式中 R ——校正后的漫反射光谱图像

R_s ——样品的原始漫反射光谱图像

R_d ——暗电流图像

R_w ——白板的漫反射图像

如果是利用样品的图像信息对样品进行检测分析,需采集暗电流图像,对采集的每一条扫描线图像消除系统本身的噪声

$$R = R_s - R_d$$

对高光谱系统采集数据的完整分析,除了使用平均光谱外,还可以通过合成检测样品的伪彩图像,根据伪彩图像中不同颜色使数据分析的结果可视化,直观地显示在样品的图像中。

软件开发中利用 VC++ 语言调用 Matlab 的动态链接库来实现复杂的光谱数据预处理或建模,通过 Matlab 语言将整个模型的建立过程生成动态链接库,加载到 VC++ 主程序的目录下,通过 VC++ 语言直接调用链接库封装好的函数^[19-20]。

3 软件主程序与主界面设计

利用模块化设计实现系统的各个子功能控制之

后,需要对所有的模块化程序进行集成,并对其相应的控制代码进行优化,提高检测速度。如果几次检测的样品类型相同,就不需要每次重复设置相应的仪器参数,第一次设置后,设置程序通过自锁保存初始设置结果。因此如果没有重新设置这些仪器参数,仪器设备就保持原有的设置结果不变。软件程序开启运行后,主程序会自动先清除缓存区内之前保留的图像。暗电流与白参考的图像采集需要在检测样品之前,用来消除系统的噪声和校正光谱的信息。

主界面设计中,包含了2部分:一是对采集图像的显示,即图像合成的显示过程,样品线扫描的过程即图像逐步合成的过程;二是结果的显示,显示模型的预测结果和分级的结果。因此系统软件的设计采用多线程编程,分为工作者线程和用户界面线程,以提高程序执行的效率^[21]。工作者线程主要用来对图像的采集、处理和分级操作;用户界面线程主要用来将采集的图像、预测的结果和分级结果等信息显示在用户界面上。多线程可以实现并行处理,避免了某项任务长时间占用 CPU。

主程序的设计如图7所示,采用一键式设计思路,将整个信号检测、运动控制、图像采集、数据处理的过程进行封装,在实际使用中,只需要点击检测按钮,就可以获得需要的结果。实用化过程中,检测系统软件操作简单、方便,降低操作难度,符合实际生产的需要。以畜肉品质检测为例开发的软件界面如图8所示。

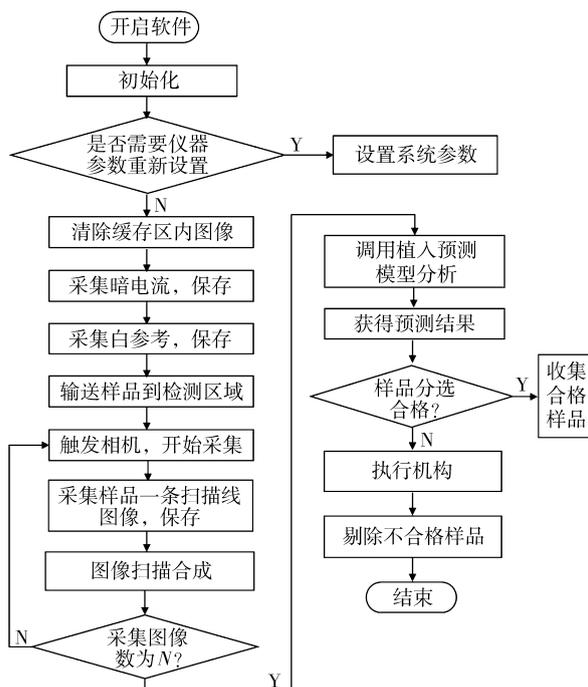


图7 主程序设计流程图

Fig. 7 Flowchart of main design software

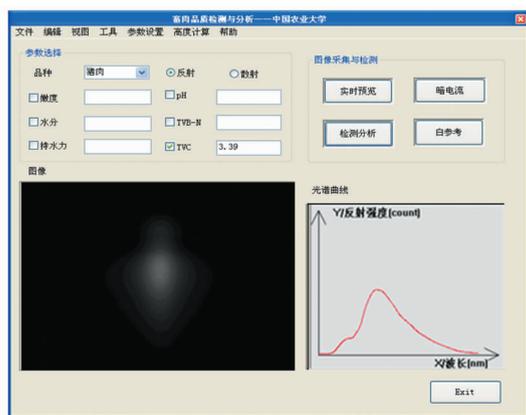


图8 畜肉品质检测的主界面图

Fig.8 Meat quality testing of main interface

农产品品质参数实时快速检测过程中,开始检测前,开启 CCD 相机、光源系统硬件设备,然后开启检测与分析软件,查看相机是否连接正确。连接正

确后,设定仪器的相关参数,点击按钮即可实现对样品的检测,就能在相应的结果显示框得到检测的结果,并通过末端的执行机构完成对样品的分选。

4 结束语

基于高光谱成像一体化控制分析软件的开发,配合相应硬件,实现了对农产品多指标参数的实时、快速无损检测,充分利用了高光谱成像技术的优势,提高了检测精度,推进了高光谱成像技术的实用化。在以后的研究中,需要通过提高模型精度、优化建模算法来提高软件检测的精度和速度,用不同产地的农产品来扩充检测样本的数据库,增强检测系统的适应性;另一方面有必要在该系统的硬件设计中添加无线传输功能,实现对不同地点、不同时段所采集数据的云端存储,便于数据的保存和共享。

参 考 文 献

- 1 Qin Jianwei, Chao Kuanglin, Kim Moon S, et al. Hyperspectral and multispectral imaging for evaluating food safety and quality [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 118(2): 157 - 171.
- 2 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 Yankun, Zhang Leilei. 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. (in Chinese)
- 3 李江波, 饶秀勤, 应义斌. 农产品外部品质无损检测中高光谱成像技术的应用研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(8): 2021 - 2026.
Li Jiangbo, Rao Xiuqin, Ying Yibin. Advance on application of hyperspectral imaging tonondestructive detection of agricultural products external quality [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(8): 2021 - 2026. (in Chinese)
- 4 罗阳, 何建国, 贺晓光, 等. 农产品无损检测中高光谱成像技术的应用研究[J]. 农机化研究, 2013(6): 1 - 7.
Luo Yang, He Jianguo, He Xiaoguang, et al. Applied research of agricultural product non-destructive detection using hyperpectral imaging Technology [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013(6): 1 - 7. (in Chinese)
- 5 Lu R F, Peng Y K. Hyperspectral scattering for assessing peach fruit firmness [J]. Journal of Biosystems Engineering, 2006, 93(2): 167 - 171.
- 6 赵杰文, 刘剑华, 陈全胜, 等. 利用高光谱图像技术检测水果轻微摔伤[J]. 农业机械学报, 2008, 39(1): 106 - 109.
Zhao Jiewen, Liu Jianhua, Chen Quansheng, et al. Detection subtle bruises on fruits with hyperspec tral imaging [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(1): 106 - 109. (in Chinese)
- 7 Peng Y K, Lu R F. Analysis of spatially resolved hyperspectral scattering images for assessing apple fruit firmness and soluble solids content [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 48(24): 52 - 62.
- 8 陈菁菁, 彭彦昆, 李永玉, 等. 基于高光谱荧光技术的叶菜农药残留快速检测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 1 - 5.
Chen Jingjing, Peng Yankun, Li Yongyu, et al. Rapid detection of vegetable pesticide residue based on hyperspectral fluorescence imaging technology [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 1 - 5. (in Chinese)
- 9 薛利红, 杨林章. 基于可见近红外高光谱的菠菜硝酸盐快速无损测定研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(4): 926 - 930.
Xue Lihong, Yang Linzhang. Nondestructive determination of nitrate content in spinach leaves with visible-near infrared high spectra [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(4): 926 - 930. (in Chinese)
- 10 Yao H, Hruska Z, Kincaid R, et al. Correlation and classification of single kernel fluorescence hyperspectral data with aflatoxin concentration in corn kernels inoculated with *Aspergillus flavus* spores [J]. Food Additives and Contaminants, 2010, 27(5): 701 - 709.
- 11 Chao K, Yang C C, Chen Y R, et al. Fast line-scan imaging system for broiler carcass inspection [J]. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 2007(1): 62 - 71.
- 12 Kamruzzaman Mohammed, ElMasry Gamal, Sun Dawen, et al. Non-destructive prediction and visualization of chemical composition in lamb meat using NIR hyperspectral imaging and multivariate regression [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012, 16: 218 - 226.
- 13 吴建虎, 彭彦昆, 江发潮, 等. 牛肉嫩度的高光谱法检测技术[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 135 - 138.
Wu Jianhu, Peng Yankun, Jiang Fachao, et al. Profiles for prediction of beef tenderness [J]. Transactions of the Chinese Society for

- Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 135 - 138. (in Chinese)
- 14 明日科技. Visual C++从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.
- 15 张曜, 郭立山, 谭超强. C++函数实用手册[M]. 北京:冶金工业出版社, 2003.
- 16 Kim M S, Chen Y R, Mehl P M. Hyperspectral reflectance and fluorescence imaging system food quality and safety [J]. Transactions of the ASAE, 2001, 44(3): 721 - 729.
- 17 Tao Feifei, Peng Yankun, Li Yongyu. et al. Simultaneous determination of tenderness and escherichia coli contamination of pork using hyperspectral scattering technique[J]. Meat Science, 2012, 90(3): 851 - 857.
- 18 单佳佳, 彭彦昆, 王伟, 等. 基于高光谱成像技术的苹果内外品质同时检测[J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 140 - 144. Shan Jiajia, Peng Yankun, Wang Wei, et al. Simultaneous detection of external and internal quality parameters of apples using hyperspectral technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 140 - 144. (in Chinese)
- 19 刘保柱, 苏彦华, 张宏林. MATLAB7.0从入门到精通[M]. 北京:人民邮电出版社, 2010.
- 20 谢中华. MATLAB统计分析与应用:40个案例分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2010.
- 21 吴建, 郑潮, 汪杰. UML基础与ROSE建模案例[M]. 北京:人民邮电出版社, 2007.

Control and Analysis Software Design of Hyperspectral Imaging System for Detection in Agricultural Food Quality

Zhao Juan¹ Peng Yankun¹ Guo Hui^{1,2} Tao Feifei¹ Zhang Leilei¹

(1. National Research and Development Center for Agro-processing Equipment,
China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Mechanical and Traffic, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Hyperspectral imaging technology was applied for quality detection of agricultural product. The research was based on laboratory setup and application. A software system was developed for real-time, rapid detection of agricultural product based on hyperspectral imaging technology. A real-time hardware system consisted of sample feeding unit, on-line detection unit and sample separation unit. The important on-line detection unit comprised charged couple device (CCD) camera, imaging spectrometer, lens, data acquisition card, light source. Sensor was developed to acquire image of intact samples. Control and analysis software was designed to detect quality parameter in agricultural food based on the VS2010 and Matlab platforms. The software designed included instrument parameter setting module, signal detection and control module and data collection and analysis module. Each functional module was divided into several sub function modules according to different function. These three main modules were integrated together to achieve the software functions of images acquisition, images synthesis, motion control, data extraction, storage and display. For data analysis, the study emphasized on analyzing the process of image synthesis in the interface of image display step by step. At the same time, for efficient image processing and spectral information in the software system, image data correction and choice of region of interest is required to display and calculate data in the whole software. Because of hyperspectral imaging technique included image information and spectral information, two part information for detecting samples was represented different preprocessing analysis method to eliminate noise and correct the original information. This study makes use of all above mentioned hardware and method to design practical analysis software to detect a variety of quality parameters of meet. It describes design ideas of the meet detection flowchart and shows the graphical user interface (GUI). The result stated that this method is effective and practical to design an integrated control analysis software for a real-time system based on hyperspectral imaging technology.

Key words: Agricultural food Quality detection Hyperspectral imaging technique On-line system Control and analysis software