doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.11.033

融合光谱与图像信息的河套蜜瓜糖度在线检测试验系统*

高　雄　刘　宇　田海清　陈亚莉　韩宝生　李　哲

(内蒙古农业大学机电工程学院,呼和浩特 010018)

摘要:针对蜜瓜糖度在线检测的需求,设计了融合漫透射光谱与图像信息的河套蜜瓜糖度在线检测试验系统,该系统包括硬件平台和软件系统两部分。硬件平台主要包括蜜瓜输送装置、光谱采集装置、图像采集装置和控制系统 4 部分。软件系统基于 Microsoft Visual C + +6.0 语言,结合 Omni Driver 软件、FlyCapture2 及 OpenCV 软件开发。系统可实现蜜瓜光谱与图像信息的自动采集、显示及保存,可实现对漫透射光谱预处理,获取糖度检测所需光谱数据,对图像预处理,提取蜜瓜外观特征图像信息(R、G、B 颜色值和蜜瓜体积)。在此基础上,系统可通过融合漫透射光谱与图像信息的蜜瓜糖度检测模型,计算蜜瓜糖度。系统同时可实现检测个数统计,外观特征信息及糖度的实时显示、保存等功能。测试试验表明,该试验系统检测 1 个样品用时 1.2 s,糖度检测均方根误差为 1.22,可满足河套蜜瓜糖度在线检测试验需求,为进一步开展河套蜜瓜糖度在线检测研究奠定了基础。

关键词:蜜瓜　糖度　光谱　图像　在线检测

中图分类号:S238　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2015)11-0245-07

On-line Detection Testing System of Sugar Content for Hetao Melon Based on Spectra and Image Information

Gao Xiong　Liu Yu　Tian Haiqing　Chen Yali　Han Baosheng　Li Zhe

(*College of Mechanical and Electrical Engineering*, *Inner Mongolia Agricultural University*, *Huhhot* 010018, *China*)

Abstract: Real-time detection of sugar content plays a crucial role in the estimation of Hetao melon quality. To reduce the effect of size on the diffuse transmittance spectra, an on-line detection testing system based on diffuse transmittance spectra and image information was designed for the evaluation of sugar content of melon. Two main parts (hardware and software) were involved in this device. The hardware includes delivery device, spectrum detection device, image capture device and control system. The software system was designed based on Microsoft Visual C + + 6.0 language and combined with the software of Omni Driver, FlyCapture2 and OpenCV. With the proposed system, firstly, the spectrum and images of melon were automatically obtained, displayed and saved. Secondly, the sensitive spectrum, color (R, G, B) and volume value of melon were derived by processing spectra and image information. Finally, the sugar content of melon was obtained according to the model of diffuse transmission spectrum and image information fusion. In conclusion, this device could automatically calculate the amount of melon, timely display and save the color value, volume value and sugar content of melon in computer, and detect a sample within 1.2 s with root mean square errors of 1.22 for sugar content. The proposed system was showed to be a promising tool for implementing on-line detection of Hetao melon sugar content.

Key words: Melon　Sugar content　Spectra　Image　On-line detection

收稿日期:2014-12-04　修回日期:2015-03-23

*国家自然科学基金资助项目(31160248)和"十二五"国家科技支撑计划资助项目(2015BAD19B03)

作者简介:高雄,副教授,主要从事机械性能分析与优化研究,E-mail:gao0927cn@aliyun.com

通讯作者:田海清,教授,主要从事农业物料无损检测研究,E-mail:hqtian@126.com

引言

采用漫透射光谱进行蜜瓜糖度检测具有可行性[1],但蜜瓜的大小差异对漫透射光谱有明显影响。目前,还没有从漫透射光谱中消除这一影响的可靠方法。图像对水果的外观特征快速检测具有独特优势,不仅可检测其大小,而且可检测外观颜色特征[2-7],而颜色特征又与蜜瓜的糖度具有一定的相关性[8],如在对蜜瓜糖度检测时,综合考虑其外观特征(大小、颜色)和光谱特征,建立融合光谱与图像信息的糖度检测方法,定比仅采用光谱方法更具可靠性。因此,开展基于漫透射光谱与图像信息的蜜瓜糖度检测研究具有重要意义。

本文基于 Maya2000 Pro 便携式可见近红外光谱仪和 Chameleon USB 2.0 工业相机设计一套融合光谱与图像信息的河套蜜瓜糖度在线检测试验系统,为进一步开展河套蜜瓜糖度在线检测研究奠定基础。

1 系统总体设计

该试验系统由硬件平台和软件系统两部分组成。

1.1 硬件平台

硬件平台部分主要由蜜瓜输送装置、光谱采集装置、图像采集装置及控制系统组成。

1.2 软件系统

尽管可见近红外光谱仪所带的光谱采集软件(SpectraSuite)可在线采集样品光谱,但对光谱的分析仍需离线进行。同样,工业相机自带的图像采集软件(FlyCapture2)也可在线采集图像,但对图像的分析也要离线进行。因此,针对蜜瓜糖度在线检测试验需求,基于 Microsoft Visual C + +6.0,结合光谱仪二次开发软件 Omni Driver、图像采集软件 FlyCapture2 及图像处理软件 OpenCV 开发了蜜瓜糖度在线检测软件系统。

1.3 系统工作流程

系统工作流程如图 1 所示,具体如下:

(1)上料装置将检测样品放置在蜜瓜输送装置的托盘上,输送装置在控制系统调定的速度下输送蜜瓜向光谱采集装置运动,当蜜瓜运动到光谱采集位置时,触发红外光电开关,进而触发光谱仪采集蜜瓜光谱,样品离开光谱采集装置后,光谱仪停止工作。

(2)当蜜瓜运动到图像采集位置时,触发图像采集装置内置的红外光电开关,进而触发工业相机采集蜜瓜图像信息,蜜瓜离开图像采集装置后,工业相机停止工作。

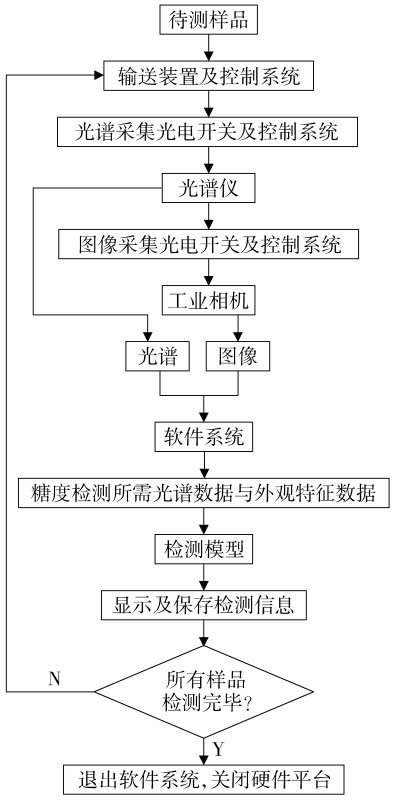

图 1 系统工作流程图

Fig. 1 Workflow chart of system

(3)软件系统对采集到的光谱与图像进行显示及预处理,进而得到蜜瓜糖度检测所需的光谱数据和外观特征信息(R、G、B 颜色值和体积)。

(4)软件系统将蜜瓜的光谱数据与外观特征信息输入到糖度检测模型中,进而得出蜜瓜的糖度。

(5)软件系统实时将检测信息(光谱保存路径、图像保存路径、外观特征信息、检测个数、糖度)存入到预设数据库,并实时显示主要检测信息。

(6)样品检测完毕后,即可停止检测,退出软件系统,关闭硬件平台。

2 硬件平台设计

2.1 蜜瓜输送装置

蜜瓜输送装置如图 2 所示,由调速电动机通过链轮、链条及输送带支撑辊带动输送带和托盘(下方设有光谱采集孔)运动,实现蜜瓜样品输送,调速电动机可实现输送速度调整。

2.2 漫透射光谱采集装置

漫透射光谱采集装置主要由漫透射光谱采集室、散热风扇、圆弧状光源固定架、左右各 6 盏对称布置的卤素灯光源(总功率 900 W)、光谱仪、光纤、准直镜及红外光电开关(蜜瓜位置传感器)组成,光谱采集装置结构及各元器件连接如图 3 所示。

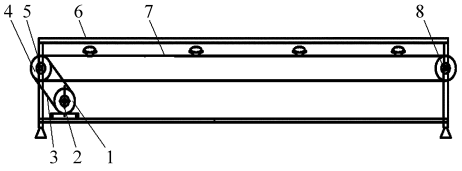

图 2　蜜瓜输送装置示意图

Fig. 2　Schematic of melon delivering device

1. 调速电动机　2. 链轮　3. 链条　4. 输送带支撑辊 I　5. 链轮　6. 机架　7. 输送带及托盘　8. 输送带支撑辊 II

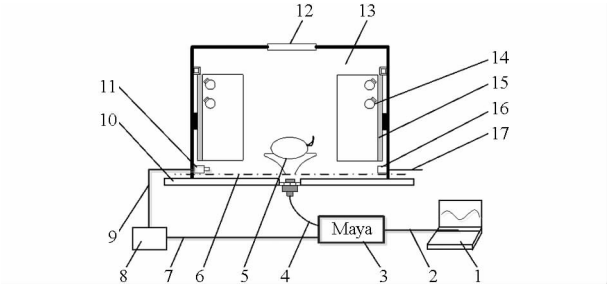

图 3　蜜瓜光谱采集装置示意图

Fig. 3　Schematic of spectra detecting device

1. 计算机　2. USB 数据线　3. 光谱仪　4. 光纤及准直镜　5. 托盘及样品　6. 输送带运行轨迹　7. 光谱仪控制信号线　8. PLC　9. 光电开关信号传输线　10. 准直镜固定平板　11. 红外光电开关接收端　12. 风扇　13. 光谱采集室　14. 卤素灯光源　15. 光源固定架　16. 红外光电开关发射端　17. 红外光电开关电源线

2.3　图像采集装置

蜜瓜图像采集装置主要由蜜瓜图像采集室、工业相机、LED 光源、红外光电开关(蜜瓜位置传感器)组成。图像采集装置结构及各元器件连接如图 4 所示。

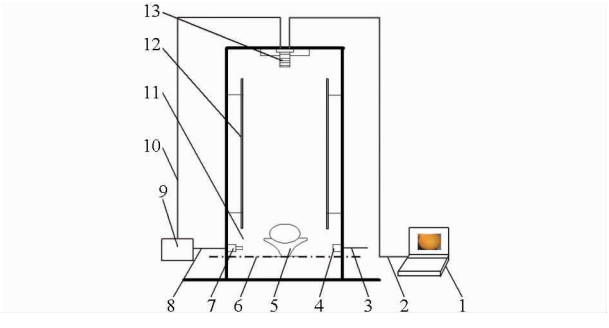

图 4　蜜瓜图像采集装置示意图

Fig. 4　Schematic of image capture device

1. 计算机　2. USB 数据线　3. 红外光电开关电源线　4. 红外光电开关发射端　5. 托盘及样品　6. 输送带运行轨迹　7. 红外光电开关接收端　8. 光电开关信号传输线　9. PLC　10. 工业相机控制信号线　11. 图像采集室　12. 光源　13. 工业相机

2.4　控制系统

2.4.1　主要电器元件

控制系统硬件主要由操作面板、小型交流继电器单元、交流接触器单元(主电路开关)、变频器、开关电源、低压断路器单元、PLC 及接线端子等部分组成。操作面板用于发出控制指令,显示系统工作状态、电源电压、电流,若使用了某个开关,则对应的显示灯会变亮。电气柜内电器元件布置如图 5 所示。

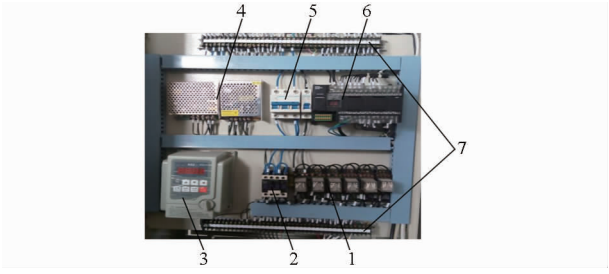

图 5　电气控制柜内部器件布局

Fig. 5　Internal structure of control unit

1. 小型交流继电器单元　2. 交流接触器单元　3. 变频器　4. 开关电源　5. 低压断路器单元　6. PLC　7. 接线端子

小型交流继电器单元设置了 6 个小型交流继电器(备用 1 个),实现对工作状态指示灯、光谱仪工作光源、相机工作光源的控制。交流接触器单元用于主电路(输送带电动机、光谱仪工作光源及工业相机工作光源运行电路)的控制。变频器用于根据实际需求调节输送带运行速度。开关电源为 PLC 输入端、光电开关提供 DC 24 V 工作电压,也为光谱仪与相机提供 DC 5 V 的工作电压。低压断路器实现对主、辅助电路电源及系统整体工作控制。辅助电路以 PLC 外围接线展开,接线图如图 6 所示。系统设置了两排接线端子,上接线端子用于外部单相交流电源、按钮、显示仪表等信号的引入与输出。下接线端子用于电动机、光电开关、变频器、相机、光谱仪等信号的引入与输出。

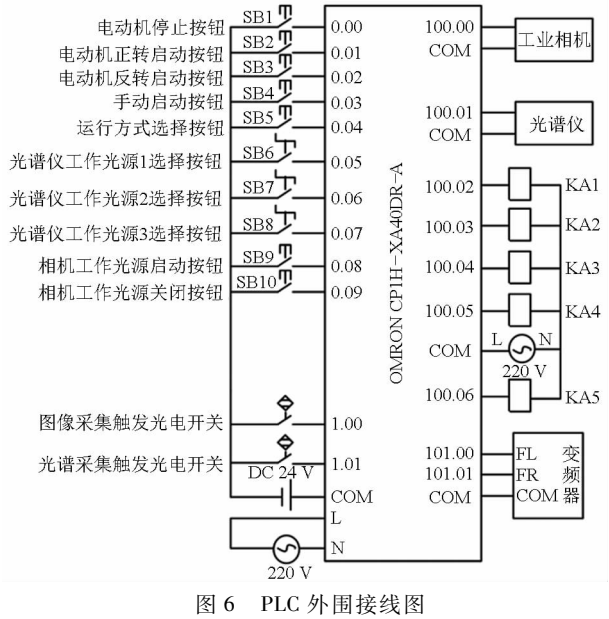

图 6　PLC 外围接线图

Fig. 6　PLC wiring diagram

控制系统采用 PLC 作为主控机直接处理相关信号(图 6),通过对输入信号的分析判断,控制光谱仪、工业相机等按要求动作,采集蜜瓜光谱和图像信

息,同时控制输送装置运行。

系统选用计算机作为上位机与 PLC 通信。系统输入端主要接收光电开关、有关控制按钮及操作开关信号,具体有:光电开关信号 2 个,启动信号 2 个(电动机正转启动和反转启动信号),停止信号 1 个(电动机停止信号),光谱仪工作光源控制信号 3 个,工业相机工作光源启动、关闭信号 2 个,运行方式(连续、间歇)选择开关 1 个,手动工作方式启动信号 1 个(输送带调试用),共计 12 个开关量。输出端的控制对象有光谱仪、工业相机、变频器、光谱仪工作光源、工业相机工作光源,以及工作状态指示灯等 9 个开关量。综合考虑存储容量、I/O 响应时间、上述输入/输出点数、负载特点及今后控制功能的扩展等因素,本系统选 CP1H - XA40DR - A 型 PLC。图 5 中,PLC 工作需 AC 220V 电源供电,输入端子只有 1 个 COM,故采用共点连接方式,输入端开关量即为上述的 12 个开关量。输出端子占用 4 个通道,采用了分组连接方式,分别用于控制光谱仪、工业相机、小型交流继电器单元及变频器。输出端 KA1 至 KA3 分别控制 3 路光谱仪工作光源,以满足光谱仪对工作光源强弱的不同需求,KA4 控制工业相机工作光源,KA5 控制工作状态指示灯,FL 驱动电动机正转,FR 驱动电动机反转。

2.4.2 控制程序

控制程序主要包括输送带控制、运行方式选择控制、光谱仪和工业相机触发控制,以及光谱仪和工业相机工作光源控制等程序,各程序具体功能如下:

(1)输送带控制程序

该程序主要实现驱动电动机正、反转运行,进而可实现蜜瓜输送。电动机反转主要用于输送带在工作过程中,由于外界干扰偏离正常轨迹时的调整。0.01 启动正转,0.02 启动反转,在实现正、反转相应动作自锁的同时,设置了互锁环节,以提高控制的可靠性。

(2)运行方式控制程序

通过操作运行方式选择按钮,经 0.04 输入信号,确定为连续或间歇运行方式。连续方式是指蜜瓜在运行到光谱采集位置,触发光电开关进行光谱采集过程中,输送带携带蜜瓜一直处于运动状态的光谱采集方式,该方式是本系统的正常工作方式;间歇方式是指蜜瓜在到达光谱采集位置时,输送带停滞 10 s(光电开关控制)的运行方式,设置该方式的目的是为调试试验系统时对比静、动态光谱差异,进而优选输送带运行速度,系统工作时,不选用该运行方式。

(3)光谱仪、工业相机触发控制程序

由光电开关输入信号,驱动光谱仪采集蜜瓜光谱信息、工业相机采集蜜瓜图像信息,并可在间歇运行方式下,保证输送带可靠停止,为信号采集提供条件。

(4)光谱仪、工业相机工作光源控制程序

通过控制面板照明控制按钮,经 PLC 输入点 0.05、0.06、0.07 分别控制光谱仪的 3 路工作光源,由 0.08 和 0.09 实现对工业相机工作光源的开启和关闭控制。

3 软件系统设计

3.1 软件系统开发工具及功能

本检测试验系统中,只有软、硬件协同工作才能实现蜜瓜糖度在线检测。本研究中蜜瓜糖度检测软件系统基于 Microsoft Visual C + +6.0 语言,并结合 Omni Driver、FlyCapture2 及 OpevCV 软件开发。Omni Driver 软件提供了光谱仪的驱动、光谱采集、参数设置等程序接口。FlyCapture2 软件主要实现工业相机图像自动采集参数(图像格式、保存路径、触发模式等)设置和蜜瓜图像信息的采集。OpenCV 软件用于图像处理。本系统采用 Visual C + +6.0 语言对 Omni Driver 进行二次开发,实现光谱仪的驱动、触发模式的选择,以及采集参数的设置(积分时间(Integration time)、离散光谱累计采集平均次数(Scans to average)、厢车法平滑宽度(Boxwidth)),进而实现蜜瓜光谱的自动采集。系统采用 Visual C + +语言同时实现如下功能:①对采集到的光谱与图像显示及保存。②调用 OpenCV 软件提供的函数库对蜜瓜图像进行平滑、去噪及阈值分割等预处理,计算蜜瓜外观特征信息值,并实时显示及保存。③对蜜瓜的漫透射光谱实时预处理,提取糖度检测所需光谱数据。④将已建立的蜜瓜糖度检测数学模型植入本检测软件系统。⑤将样品的外观特征值和光谱数据实时输入到检测数学模型中,进而得出蜜瓜的糖度,并显示及保存。⑥实时统计在线检测个数,并完成相关信息的保存。

3.2 用户界面

图 7 所示为蜜瓜糖度检测软件系统界面,界面

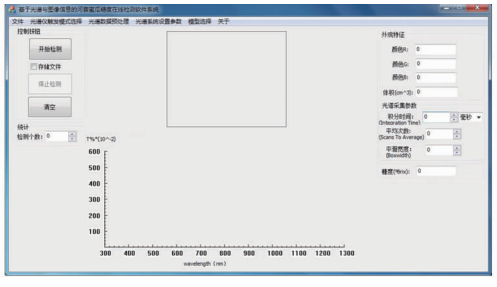

图 7 软件系统界面

Fig. 7 Interface of software system

内容包括菜单区、控制按钮模块、检测个数统计模块、光谱与图像显示模块、蜜瓜外观特征显示模块、光谱采集参数设置模块和糖度值显示模块。

3.2.1 菜单功能

(1)文件菜单

文件菜单中主要包括图像读取、光谱显示、光谱文件保存路径设置、退出系统 4 个功能。该软件系统结合 FlyCapture2 软件开发，图像保存路径由 FlyCapture2 软件设置。图像读取菜单实现调用、打开并显示已检测蜜瓜图像；光谱显示菜单实现打开并显示已检测蜜瓜光谱；光谱文件保存路径设置菜单实现蜜瓜光谱的保存路径(默认路径为 D:\)；退出系统菜单实现退出检测软件系统。

(2)光谱仪触发模式选择菜单

光谱仪支持 4 种触发模式，分别是标准模式、外部硬件电平触发模式、外部硬件边沿触发模式和外部同步触发模式。本软件系统设计中，光谱仪触发模式选择菜单包含了这 4 种模式，但针对本系统的硬件情况，实际工作中选用外部硬件电平触发模式。

(3)光谱数据预处理菜单

光谱仪采集到的蜜瓜原始光谱，不仅包含了与蜜瓜内部品质相关的有效信息，也包含了一些外界环境干扰信息，因此，为了得到与蜜瓜糖度相关的有效信息，需对采集到的光谱信息进行预处理。光谱数据预处理菜单设置滤波、背景扣除及基线校正等光谱预处理方法。

(4)光谱系统设置参数菜单

在采集蜜瓜的漫透射光谱之前，需先采集参比光谱与暗场光谱。本菜单中主要包括保存参比光谱、保存暗场光谱、保存系统设置参数(参比光谱、暗场光谱、光谱采集参数)及导入系统设置参数 4 种功能。保存及导入系统设置参数的功能主要为用户在因为其他事故而中断试验时提供方便，此时用户只需点击“保存系统设置参数”，即可保存当前系统设置的参数，在下次检测开始之前点击“导入系统设置参数”即可导入之前保存的系统设置参数，无需重新设置。

(5) 模型选择菜单

针对不同的蜜瓜品种可设置不同的检测模型，以供选择。

3.2.2 主要模块

(1)控制按钮模块

包括开始检测按钮、停止检测按钮、系统清空及是否对检测结果进行保存的选择按钮。

(2)检测个数统计模块

该模块实现在线统计检测个数。

(3)光谱、图像显示模块

该模块主要实现显示当前所测蜜瓜漫透射光谱与图像信息，因蜜瓜首先经过光谱采集装置，故首先显示光谱，而到达图像采集装置后，光谱不再显示，只显示图像。

(4)蜜瓜外观特征显示模块

显示蜜瓜外观特征(R、G、B 颜色值和体积)。

(5)光谱采集参数设置模块

该模块主要用于采集参数设置，包括积分时间、离散光谱累计采集平均次数及厢车法平滑宽度设置。

3.3 光谱与图像处理方法

3.3.1 蜜瓜光谱预处理算法

本系统采用透射率 T_λ 作为漫透射光谱指标，计算公式为

$$T_\lambda = \frac{S_\lambda - D_\lambda}{R_\lambda - D_\lambda} \times 100\% \tag{1}$$

式中　S_λ——波长为 λ 时样品的光谱强度

D_λ——波长为 λ 时暗场光谱强度

R_λ——波长为 λ 时参比光谱强度

本软件系统光谱滤波方法采用移动窗口平均法，基线校正采用附加散射校正法，同时设置了背景扣除算法[9-12]。

3.3.2 图像数据处理方法

(1)图像预处理

本系统对采集到的蜜瓜图像，通过调用 OpenCV 软件提供的函数对蜜瓜图像进行预处理。阈值分割函数为[13]：cvThreshold (src, dst, threshold, max _ value, threshold type)，其中 threshold type 设置为 CV_THRESH_BINARY，采用二值化滤波，threshold 为阈值，本研究中 threshold 为 40，max_value 为 255。

在获取蜜瓜图像时，由于输送装置及周围环境的影响，会产生噪声，为保证图像的清晰度，需进行去噪及平滑处理。形态学去噪与平滑是针对二值图像进行处理的方法，基本运算是膨胀和腐蚀。膨胀和腐蚀两种方法可以同时使用，本系统采用先膨胀再腐蚀的计算方法[14]，以达到弥合轮廓缺陷、去除毛刺、平滑轮廓、清除噪声等效果。图像去噪及平滑处理函数为：腐蚀和膨胀函数分别为 cvErode (src, dst, element, iterations) 和 cvDilate (src, dst, element, iterations)，其中 src 为输入图像，dst 为输出图像，element 为结构元素，如设置为 NULL，则默认为 3 × 3 的矩形结构元素，iterations 为运算次数[15-16]。平滑处理函数为：cvSmooth (src, dst, smoothtype, param1, param2, param3, param4)，参

数 smoothtype 表示采用的平滑处理方法,本研究中采用中值滤波,因此设置为 CV_MEDIAN,对图像进行核大小 param1 × param1 的中值滤波,设置 param1 为 3,其余参数设置为 0。腐蚀、膨胀具体语句为:

pKernel = cvCreate Structuring Element Ex (4, 4, 1, 1, CV_SHAPE_ELLIPSE, 0)

cvErode (src, dst, pKernel, 1)

cvDilate (src, dst, pKernel, 1)

cvSmooth(dst,dst,CV_MEDIAN,3,0,0,0)

(2)蜜瓜外观特征相关参数计算

对蜜瓜图像进行阈值分割、去噪及平滑处理后,则可以计算蜜瓜图像的 R、G、B 颜色值及蜜瓜体积。因本系统主要针对河套蜜瓜重要品种"金红宝"开发,而前期大量研究表明,"金红宝"蜜瓜二维图像计算的体积(近似看做均匀椭球体)与实际测量值(排水法)基本呈线性关系,复相关系数 R^2 可达 0.973 3。因此,本系统计算蜜瓜体积方法为:对蜜瓜进行边缘检测,求二值图片中蜜瓜的最小外接矩形,计算最小外接矩形的长、宽。得到矩形的长、宽即为将蜜瓜看作理想椭球体的纵径及横径。椭球体体积计算方法为

$$V_{\text{ellip}} = \frac{4\pi}{3}\frac{a}{2}\left(\frac{b}{2}\right)^2 \tag{2}$$

式中 a——纵径,cm b——横径,cm

本文计算蜜瓜体积方法为

$$V_{\text{melon}} = \frac{V_{\text{ellip}} - 125.86}{0.91} \tag{3}$$

蜜瓜图像颜色值的计算方法:计算蜜瓜形心,在蜜瓜边缘轮廓线均匀取 6 点,分别在形心与此 6 点连线的中心标记 6 个正方形,对 6 个正方形的 R、G、B 颜色求平均值,所求平均值即为蜜瓜图像最终的 R、G、B 颜色值。

4 系统测试

为检测利用本试验系统是否可开展蜜瓜糖度在线检测试验,进行了系统测试。

4.1 硬件测试

系统测试主要包括硬件平台测试和系统整体测试,硬件平台测试内容主要包括:输送带正、反转运行可靠性测试,输送带是否可按选择的运行方式和运行速度正常运行测试,光谱仪、工业相机触发控制程序运行可靠性测试,以及光谱仪、工业相机工作光源控制可靠性测试。测试结果表明,硬件平台实现了预期功能。本文在对硬件平台测试基础上,重点进行了系统整体测试。

4.2 检测模型

为实现试验系统测试,需在软件中植入检测模型,本测试试验采用的模型为多元线性回归模型,建模时采用的光谱、图像数据为在线采集并预处理数据,光谱波段选择采用逐步线性回归算法,建模样品为 110 个"金红宝"蜜瓜,模型相关系数 r 为 0.87,均方根校正误差 RMSE 为 0.84。所用模型为

$$\begin{aligned} y = {} & -18.698T_{434.39} + 10.521T_{544.79} - 25.363T_{579.02} + \\ & 4.935T_{672.07} - 1.803T_{717.87} + 26.788T_{738.12} - \\ & 14.416T_{806.09} + 28.173T_{841.29} - 53.112T_{916.99} - \\ & 21.171T_{978.22} + 44.543T_{1\,000.88} - 0.018x_R + \\ & 0.018x_G - 0.026x_B - 0.001x_V + 17.974 \end{aligned} \tag{4}$$

式中 y——糖度,°Brix

x_R、x_G、x_B——R、G、B 颜色值

x_V——蜜瓜体积,cm^3

4.3 系统整体测试

系统整体测试时硬件平台运行状态及光谱、图像采集参数设置均与建模时相同。系统测试及功能实现过程如下:①开启硬件平台。②开启软件系统,设置 FlyCapture2 软件中蜜瓜图像自动采集参数,以实现河套蜜瓜图像的自动采集及保存。③设置光谱仪触发模式、光谱文件保存路径,选择光谱预处理方法,设置暗场及参比光谱采集参数,具体数值如表 1 所示。④采集、保存暗场及参比光谱。⑤设置蜜瓜漫透射光谱采集参数,具体数值如表 1 所示。⑥上料装置将蜜瓜放置在输送带的托盘上,输送装置运送蜜瓜向光谱采集装置运动。⑦点击软件界面中"开始检测"按钮,选择"存储文件"按钮,点击文件菜单中的"图像读取"和"光谱显示"按钮。⑧蜜瓜到达漫透射光谱采集位置,触发光谱仪,软件系统自动采集蜜瓜漫透射光谱,采集及显示界面如图 8 所示,同时软件系统自动对蜜瓜光谱进行预处理、获取蜜瓜糖度检测光谱数据。⑨蜜瓜到达图像采集位置,触发工业相机,FlyCapture2 自动采集、保存图像。软件系统调用并显示蜜瓜图像,图像显示界面如图 9 所示。同时软件系统对蜜瓜图像进行预处理,并计算蜜瓜颜色值、体积。⑩软件系统自动调用已植入到系统内部的蜜瓜糖度检测数学模型,计算蜜瓜糖度,并显示。本系统图像显示设置为延时模式,因此在图像显示过程中显示蜜瓜外观特征和糖度,显示界面如图 9 所示。⑪每检测一个样品,系统自动统计在线检测个数,同时,系统自动将光谱保存路径、图像保存路径、R 通道、G 通道、B 通道颜色值、体积、检测个数及糖度存入数据库。至此,一个蜜瓜糖度检测过程完毕,本检测试验系统检测 1 个样品用时 1.2 s,满足在线检测要求。待所有样品检测完毕后,点击停止检测按钮,退出软件系统,关闭硬件平台。

表 1　光谱采集参数

Tab. 1　Spectra detecting parameters

参数	积分时间/ms	平均次数	平滑宽度/点
暗场光谱	10	6	4
参比光谱	10	6	4
“金红宝”蜜瓜	400	6	4

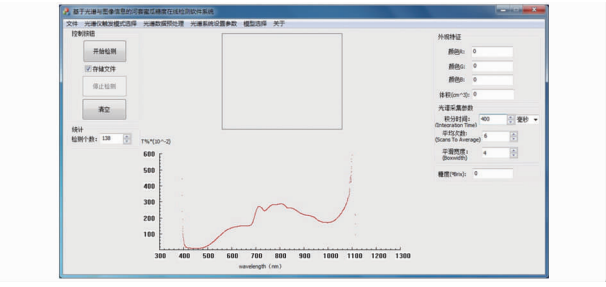

图 8　蜜瓜光谱采集及显示界面

Fig. 8　Detecting and displaying interface of melon spectra

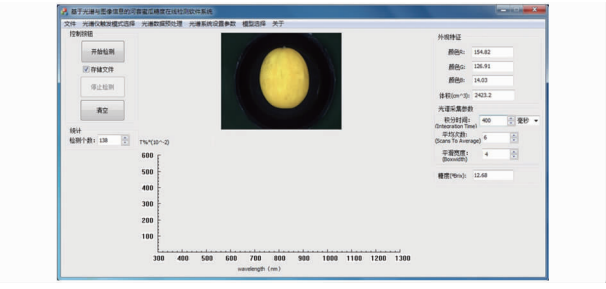

图 9　蜜瓜图像和检测结果显示界面

Fig. 9　Melon image and displaying interface of detection result

反复测试试验表明：该蜜瓜糖度在线检测试验系统能够实现蜜瓜光谱与图像信息的在线采集、处理及显示，能够实时计算、显示蜜瓜的颜色值、体积、糖度和检测个数，同时也能实现相关数据的保存，糖度检测均方根误差为 1.22。系统实现了预期功能。

5　结束语

建立了一种融合漫透射光谱与图像信息的河套蜜瓜糖度在线检测试验系统，并对检测试验系统进行了设计。该系统硬件平台主要由蜜瓜输送装置、光谱采集装置、图像采集装置及控制系统组成。软件系统基于 Microsoft Visual C + +6.0，结合光谱仪二次开发软件 Omni Driver、图像采集软件 FlyCapture2 及图像处理软件 OpenCV 开发。测试结果表明，系统实现了蜜瓜光谱与图像的自动采集、显示及保存，实现了对漫透射光谱预处理，获取糖度检测所需光谱数据，对蜜瓜图像预处理及提取外观特征信息（蜜瓜图像 R、G、B 颜色值和蜜瓜体积）。系统可通过融合漫透射光谱与图像信息的蜜瓜糖度检测模型，计算蜜瓜糖度。该系统同时实现了检测个数统计，外观特征信息及糖度的实时显示、保存等功能。该试验系统检测 1 个样品用时 1.2 s，糖度检测均方根误差为 1.22，可满足河套蜜瓜糖度在线检测试验的需求，为进一步开展河套蜜瓜糖度在线检测研究奠定了基础。

参　考　文　献

1　田海清，王春光，吴桂芳. 蜜瓜糖度漫透射光谱检测技术[J]. 农业机械学报，2010，41(12)：130 – 133.
Tian Haiqing，Wang Chunguang，Wu Guifang. Sugar content detecting of muskmelons by transmission spectra [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2010，41(12)：130 – 133. (in Chinese)

2　饶秀勤. 基于机器视觉的水果品质实时检测与分级生产线的关键技术研究[D]. 杭州：浙江大学，2007.
Rao Xiuqin. Real-time inspection technology of fruit quality using machine vision[D]. Hangzhou：Zhejiang University，2007. (in Chinese)

3　张亚静，邓烈，李民赞，等. 基于图像处理的柑橘测产方法[J]. 农业机械学报，2009，40(增刊)：97 – 99.
Zhang Yajing，Deng Lie，Li Minzan，et al. Citrus yield based on image processing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2009，40(Supp.)：97 – 99. (in Chinese)

4　代媛，何东健，杨龙. 压缩感知苹果图像并行快速重构方法研究[J]. 农业机械学报，2014，45(9)：72 – 78.
Dai Yuan，He Dongjian，Yang Long. Parallel and fast reconstruction algorithm for compressed sensing apple image [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2014，45(9)：72 – 78. (in Chinese)

5　李江波，黄文倩，张保华，等. 类球形水果表皮颜色变化校正方法研究[J]. 农业机械学报，2014，45(4)：226 – 230.
Li Jiangbo，Huang Wenqian，Zhang Baohua，et al. Correction algorithm of lighting non-uniformity on spherical fruit [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2014，45(4)：226 – 230. (in Chinese)

6　苗玉彬，王浙明，刘秦. 水果轮廓特征提取的 Zernike 矩分水岭分割方法[J]. 农业工程学报，2013，29(1)：158 – 163.
Miao Yubin，Wang Zheming，Liu Qin. Application of Zernike-moment-based watershed segmentation on fruit features extraction [J]. Transactions of the CSAE，2013，29(1)：158 – 163. (in Chinese)

7　Naoshi K. Automation on fruit and vegetable grading system and food traceability[J]. Trends in Food Science & Technology，2010，21(3)：145 – 152.

（下转第 235 页）

Control, 2002,13(4 – 5):281 – 288.
12 Funes G J, Gomez P L, Resnik S L, et al. Application of pulsed light to patulin reduction in McIlvaine buffer and apple products [J]. Food Control, 2013, 30(2):405 – 410.
13 Coelho1 A R, Celli M G, Sataque Ono E Y, et al. Patulin biodegradation using *Pichia ohmeri* and *Saccharomyces cerevisiae*[J]. World Mycotoxin Journal,2008,1(3): 325 – 331.
14 Fuchsa S, Sontaga G, Stidla R, et al. Detoxification of patulin and ochratoxin A, two abundant mycotoxins, by lactic acid bacteria [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008,46(4):1398 – 1407.
15 左社强,唐志坚,张平,等.超声波技术在环境保护领域中的应用[J].环境科学与技术,2003,26(增刊 1):82 – 84.
Zuo Sheqiang,Tang Zhijian,Zhang Ping, et al. Application of ultrasound technology in environment protection [J]. Environmental Science and Technology, 2003,26(Supp. 1):82 – 84. (in Chinese)
16 高振鹏, 岳田利,袁亚宏, 等.超声波强化有机溶剂提取石榴籽油的工艺优化[J].农业机械学报,2008,39(5):77 – 80.
Gao Zhenpeng, Yue Tianli, Yuan Yahong, et al. Technology optimization on extracting pomegranate seed oil using organic solvent assisted by ultrasound [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(5):77 – 80. (in Chinese)
17 van Boekel M A J S. Kinetic modeling of food quality: a critical review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2008,7(1): 144 – 158.
18 郭洪光, 黄鑫, 高乃云,等. 超声波降解乐果的动力学和影响因素分析[J]. 四川大学学报:工程科学版,2011, 43(1): 208 – 213.
Guo Hongguang, Huang Xin, Gao Naiyun, et al. Analysis on the impact factors and kinetics of the sonolytic degradation of dimethoate[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2011, 43(1):208 – 213. (in Chinese)
19 刘淼,冷粟,陈嵩岳,等.改性 Ti/SnO_2 – Sb 电极降解硝基苯废水[J]. 高等学校化学学报,2013, 34(8):1899 – 1906.
Liu Miao, Leng Su, Chen Songyue, et al. Degradation of nitrobenzene wastewater with modified Ti/SnO_2 – Sb electrode [J]. Chemical Journal of Chinese Universities, 2013, 34(8):1899 – 1906. (in Chinese)
20 常春,祝凌燕,朱淑贞. 纳米零价铁对 γ-HCH 的降解效果及机理研究[J]. 中国环境科学,2010, 30(2):167 – 173.
Chang Chun, Zhu Lingyan, Zhu Shuzhen. Degradation efficiency and mechanisms of γ-hexachlorocyclohexane by nanoscale zero valent iron particles[J]. China Environmental Science,2010, 30(2):167 – 173. (in Chinese)
21 唐玉霖,高乃云,庞维海. 超声波技术在饮用水中应用的研究进展[J].给水排水,2007, 33(12):113 – 118.
Tang Yulin, Gao Naiyun, Pang Weihai. Progress on research of ultrasonic technology for drinking water [J]. Water & Wastewater Engineering,2007, 33(12):113 – 118. (in Chinese)
22 Aktar W, Paramasivam M, Senqupta D, et al. Impact assessment of pesticide residues in fish of ganga river around kolkata in west bengal [J]. Environimental Monitoring and Assessment,2008,157(1 – 4): 97 – 104.

(上接第 251 页)

8 骆蒙, 李天然, 张治中, 等. 河套蜜瓜 Cucumis Melo CV Hetao 成熟期中某些生理生化过程的变化[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版, 1996, 27(2): 234 – 236.
Luo Meng, Li Tianran, Zhang Zhizhong, et al. Changes of some physiological and biochemical processes during ripening of fruit in Cucumis Melon CV Hetao[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Inner Mongolia, 1996, 27(2): 234 – 236. (in Chinese)
9 严衍禄, 赵龙莲, 韩东海, 等. 近红外光谱分析基础与应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 98 – 109.
10 史永刚, 冯新沪, 李子存. 化学计量学[M] . 北京: 中国石化出版社, 2003: 141 – 143.
11 陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等. 现代近红外光谱分析技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000: 58 – 60.
12 Zude M, Pflanz M, Spinelli L, et al. Non-destructive analysis of anthocyanins in cherries by means of Lambert-Beer and multivariate regression based on spectroscopy and scatter correction using time-resolved analysis[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 103(1): 68 – 75.
13 左飞,万晋森,刘航. Visual C + + 数字图像处理开发入门与编程实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 550 – 584.
14 肖文东, 马本学. 基于 OpenCV 哈密瓜纹理特征的提取[J]. 石河子大学学报:自然科学版, 2011, 29(1): 108 – 109.
Xiao Wendong, Ma Benxue. The image texture extraction of Hami melon based on OpenCV[J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2011, 29(1):108 – 109. (in Chinese)
15 陈胜勇, 刘盛. 基于 OpenCV 的计算机视觉技术实现[M]. 北京:科学出版社, 2009.
16 刘慧英, 王小波, 张丽红. 基于 OpenCV 的车辆轮廓检测[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(12):2987 – 2991.
Liu Huiying, Wang Xiaobo, Zhang Lihong. A vehicle contours detection method based on OpenCV[J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(12): 2987 – 2991. (in Chinese)