

马铃薯缺陷透射和反射机器视觉检测方法分析*

李小昱¹ 陶海龙¹ 高海龙¹ 李 鹏¹ 黄 涛¹ 孙金凤²

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 湖北工业大学机械工程学院, 武汉 430068)

摘要: 针对反射机器视觉技术若同时检测马铃薯内外部缺陷存在检测精度不高的问题,提出一种基于透射机器视觉技术的马铃薯内外部缺陷无损检测方法。通过对获取的马铃薯透射和反射图像预处理方法的比较研究,确定上山法结合区域生长法为马铃薯透射和反射图像特征的最优分割方法;采用偏最小二乘-支持向量机分别建立了透射和反射图像的马铃薯缺陷识别模型并进行了比较。在对马铃薯内部缺陷进行检测时,透射和反射图像所建模型的判别正确率分别为 96.30%、59.26%;在对马铃薯外部缺陷进行检测时,透射和反射图像所建模型的判别正确率分别为 94.20%、89.86%;在对马铃薯内外部缺陷进行同时检测时,透射和反射图像所建模型的判别正确率分别为 95.83%、81.25%。研究表明,无论是对马铃薯内部或外部缺陷单独进行检测,还是对内外部缺陷同时进行检测,透射方法均比反射方法精度更高。

关键词: 马铃薯 缺陷检测 透射图像 反射图像 机器视觉

中图分类号: S532; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)05-0191-06

引言

开展马铃薯的缺陷检测和快速分级,有利于马铃薯的深加工,促进产品增值^[1-3]。

机器视觉技术是重要的农产品无损检测技术^[4-6]。近年来,国内外学者开展了一些基于机器视觉技术的马铃薯外部品质检测研究^[7-12]。本研究团队前期也开发了一整套基于马铃薯反射图像的马铃薯在线分级系统,提出了用平面镜反射方法在马铃薯不翻转的情况下同时采集马铃薯三面图像,用缺陷面积像素值统计方法判别马铃薯表面缺陷,用外接矩方法对马铃薯的大小与薯形进行判别。然而受制于光源、马铃薯形状等因素的影响,马铃薯图像质量仍有待提高^[13]。

现阶段马铃薯缺陷反射机器视觉技术检测方法主要停留在马铃薯外部缺陷的检测上,而对于马铃薯内部缺陷的检测(如内部黑心)目前还未见报道。本研究团队前期采用可见/近红外透射光谱技术检测马铃薯黑心,发现特征波段主要在可见光范围内,这为机器视觉技术检测马铃薯内部黑心提供了理论依据^[14]。

透射机器视觉成像技术由于透射光的穿透性,其透过农产品时会在一定程度上反映其内部特性的

变化,对检测农产品内部特性具有很大的优势。该技术在禽蛋品质的检测中表现出了较好的效果^[15],但针对固体物料的检测鲜有研究。因此本文针对反射机器视觉技术不能够准确检测马铃薯内部缺陷以及图像质量受马铃薯形状影响的问题,对反射和透射机器视觉技术的检测方法进行比较研究,提出一种基于透射机器视觉技术的马铃薯内外部缺陷无损检测方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用马铃薯为克新1号,购买于湖北省武汉市关山批发大市场。根据文献[14]进行马铃薯内部黑心样本制备,形成64个内部缺陷(黑心)样本,根据NY/T 1066—2006《马铃薯等级规格》,另选取外部缺陷样本166个,合格样本210个。将该440个试验样本进行透射和反射机器视觉图像的采集。样本参数见表1。

1.2 马铃薯图像采集系统

马铃薯透射与反射机器视觉图像采集系统示意图如图1、2所示。

马铃薯透射图像采集系统由光源箱、环形支架、卤钨灯阵列、暗箱、CCD图像传感器、图像采集卡、

收稿日期: 2013-06-19 修回日期: 2013-07-15

* 国家自然科学基金资助项目(61275156)、湖北省自然科学基金资助项目(2011CDA033)和中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(0900205116)

作者简介: 李小昱,教授,博士生导师,主要从事智能化检测与控制技术研究,E-mail: lixiaoyu@mail.hzau.edu.cn

表 1 样本参数
Tab.1 Sample parameters

样本种类		样本数	质量最大值/g	质量最小值/g	质量均值/g
总体		440	286.26	99.61	150.84
合格		210	286.26	99.61	150.76
内部缺陷	黑心	64	264.22	101.32	150.64
	发芽	51	248.62	106.52	151.26
外部缺陷	绿皮	60	256.26	102.62	153.62
	腐烂	55	251.28	104.88	154.68

电缆线、计算机等组成。6 个卤素灯(Philips, 50 W)等距固定在环形支架上,同时在支架中部也安装一个卤素灯(Philips, 50 W)。CCD 图像传感器型号为 scA1390-17fc(德国 Baseler 公司),镜头型号为 M1214-MP,图像采集卡型号为 Meteor2-1394,马铃薯图像采集背景为黑色。

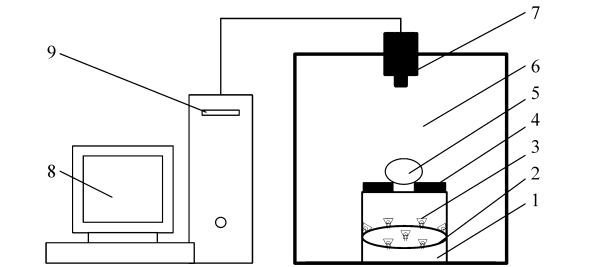


图 1 马铃薯透射图像采集系统示意图
Fig.1 Schematic of acquisition system for potato transmission image
1.光源箱 2.环型支架 3.卤钨灯阵列 4.柔性支撑物 5.马铃薯 6.暗室 7.相机 8.计算机 9.图像采集卡

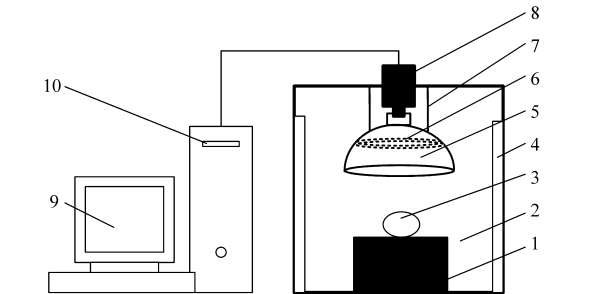


图 2 马铃薯反射图像采集系统示意图
Fig.2 Schematic of acquisition system for potato reflection image
1.载物台 2.光源箱 3.马铃薯 4.立式光源 5.半球形光源 6.LED 阵列 7.支架 8.相机 9.计算机 10.图像采集卡

马铃薯反射图像采集系统由光源箱、反射光源(立式光源与 LED 阵列半球形光源)、CCD 图像传感器、图像采集卡、电缆线、计算机等组成。CCD 图像传感器型号为 scA1390-17fc(德国 Baseler 公司),镜头型号为 M1214-MP,图像采集卡型号为 Meteor2-1394。立式光源为日光灯,置于光源箱 4 个箱角,LED 阵列半球形光源为 4 排阵列 LED 灯,

置于半球形反射镜顶部。相机通过半球形反射镜顶部的开孔对马铃薯进行拍摄,马铃薯图像采集背景为黑色。

其图像采集过程是:首先打开反射图像采集系统光源,用相机获得马铃薯反射图像,采集图像时,确定相机光圈与焦距的最佳参数,使马铃薯图像最为清晰,全部样本的反射图像在同一条件下进行采集。待反射图像采集完成以后,再打开透射图像采集系统光源,同样确定焦距与光圈的最佳参数,使马铃薯图像最为清晰,全部样本的透射图像也在同一条件下进行采集。

1.3 马铃薯样本分割

试验比较了不同滤波方式对马铃薯图像的预处理效果:对于马铃薯反射图像,维纳滤波效果较好,对于马铃薯透射图像,中值滤波效果较好。对经滤波后的图像进行马铃薯样本分割。具体流程图如图 3 所示。经分割后马铃薯样本模板图如图 4 所示。

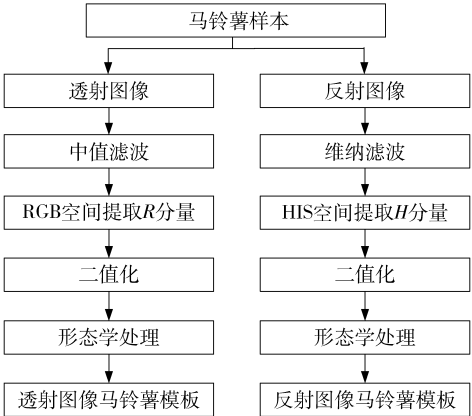


图 3 马铃薯样本分割流程图
Fig.3 Flowchart of potato samples separation

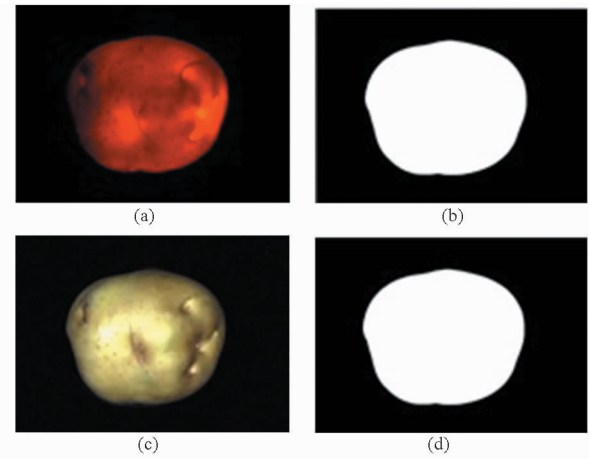


图 4 合格马铃薯样本分割结果
Fig.4 Results of qualified potato samples segmentation
(a) 透射图像 (b) 透射图像模板
(c) 反射图像 (d) 反射图像模板

1.4 马铃薯特征图像分割

分析马铃薯图像,发现对于马铃薯透射图像,合格马铃薯颜色都比较均匀,而缺陷马铃薯图像的像素差异较大,对于马铃薯反射图像,尽管优化了光源系统,但由于马铃薯形状不规则,在马铃薯表面容易出现一些光线较强的点,也就是光线在马铃薯表面分布不均匀,因此用简单的阈值分割法对马铃薯反射图像进行图像分割效果不理想。而马铃薯缺陷部位与合格部位又有比较明显的区域特征,因此本文采用上山法结合区域生长法对马铃薯图像进行缺陷分割。

上山法是一种启发式、局部择优的方法。该方法首先定义一个函数 $f(x)$, x 表示在一定取值范围内的离散值。然后从当前的节点 x 开始,与周围的邻居节点 $\text{neighbor}(x)$ 的值进行比较。如果当前节点 x 是最大的,那么返回当前节点 x ,作为最大值(即山峰最高点),反之就用最高的邻居节点 $\text{neighbor}(x)$ 来替换当前节点,从而实现向山峰的高处攀爬的目的,如此循环直到达到最高点。

在本文图像处理中,该方法首先将马铃薯图像转换为颜色直方图,在直方图上利用上山法求出所有可能的局部最高点。找到最高点后,将该最高点作为区域生长法^[16]的种子点,对图像进行区域分割,对于透射图像统一选取最低区域作为特征图像,对于反射图像选择最高区域以及最低区域作为特征图像。

不同缺陷马铃薯经上山法结合区域生长法分割后,再进行一定的形态学处理的特征分割,如图 5 所示。从分割后的特征图中发现透射图像对缺陷特征的分割效果较好,而反射图像分割后会出现一些非缺陷特征的特征点,这将影响下一步马铃薯缺陷特征的识别。

1.5 马铃薯缺陷判别方法

分割后得到马铃薯缺陷特征图像,需对提取的特征进行进一步的模式识别才能确定是否为缺陷。本文采用偏最小二乘-支持向量机(PLS-SVM)模式识别方法^[17]对特征图像进行判别。

由于缺陷马铃薯缺陷部位的颜色特征较合格部分颜色特征差异较大,因此对特征图像提取颜色特征作为建模的输入矢量。从分割后的马铃薯特征图像中提取红色分量均值($\bar{R}$)、绿色分量均值($\bar{G}$)和蓝色分量均值($\bar{B}$)以及标准差 δ_R 、 δ_G 和 δ_B 等 6 个颜色特征变量;把图像进行 RGB 到 HIS 颜色空间转换,再从 HIS 颜色空间中,提取色调均值($\bar{H}$)、亮度均值($\bar{I}$)和饱和度均值($\bar{S}$)以及标准差 δ_H 、 δ_I 和 δ_S 等 6 个颜色特征变量,共 12 个颜色特征变量。对

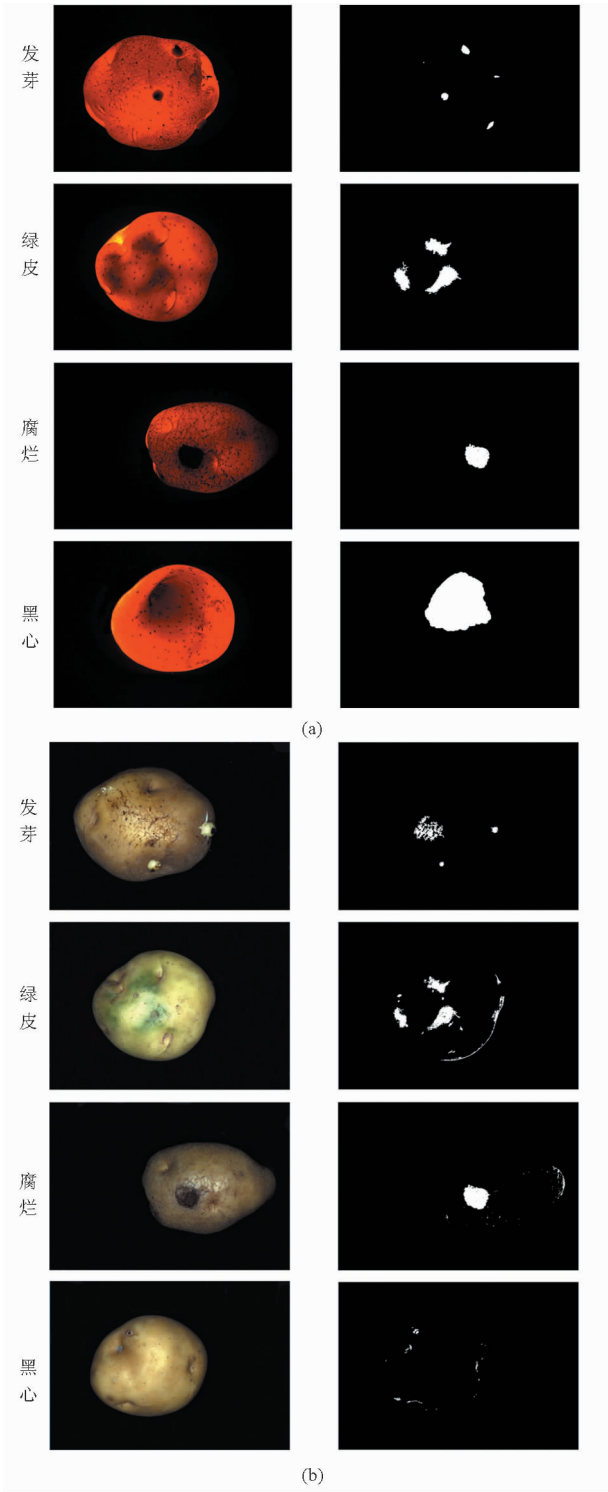


图 5 不同类型马铃薯缺陷图像分割结果

Fig.5 Results of segmentation of different potato defect images

(a) 透射马铃薯缺陷图像分割结果

(b) 反射马铃薯缺陷图像分割结果

12 个颜色特征变量进行归一化处理,作为偏最小二乘-支持向量机建模的输入矢量。由于本文只针对缺陷和合格马铃薯进行判别,因此偏最小二乘-支持向量机模型的输出只有两个类别,即合格马铃薯与缺陷马铃薯。本文将合格马铃薯样本标记为“1”,缺陷马铃薯标记为“0”,作为偏最小二乘-支持向量

机的输出矢量。

用偏最小二乘-支持向量机进行建模识别首先应该选择核函数,不同的核函数选择会直接影响到分类的结果^[18-19]。本文选择 radial basis function (RBF) 核作为偏最小二乘-支持向量机建模的核函数,采用二次格点搜索法确定结构参数 $\gamma = 13.56$ 以及 RBF 参数 $\delta^2 = 28.39$ 为最佳参数。

2 结果与分析

以 1.1 节中的 440 个马铃薯为研究对象,在马铃薯内部缺陷的检测中,以建模集 167 个(合格 130 个、内部缺陷 37 个),验证集 107 个(合格 80 个,内部缺陷 27 个),共 274 个马铃薯,建立偏最小二乘-支持向量机马铃薯内部缺陷检测模型;在马铃薯外部缺陷检测中以建模集 227 个(合格 130 个、外部缺陷 97 个),验证集 149 个(合格 80 个,外部缺陷 69 个)共 376 个马铃薯,建立偏最小二乘-支持向量机马铃薯外部缺陷检测模型;在马铃薯内外部缺陷同时检测中,以建模集 264 个(合格 130 个、内外部缺陷共 134 个),验证集 176 个(合格 80 个,内外部缺陷共 96 个),共 440 个马铃薯,建立偏最小二乘-支持向量机马铃薯内外部缺陷检测模型。所建 6 种模型的识别结果见表 2。

表 2 透射与反射方法马铃薯缺陷检测结果

Tab.2 Results of transmission and reflection methods for potato defects detection

采集方式	校正集		测试集	
	缺陷马铃薯	识别正	缺陷马铃薯	识别正
	误判个数	确率/%	误判个数	确率/%
内部缺陷透射	2	94.59	1	96.30
内部缺陷反射	17	54.05	11	59.26
外部缺陷透射	4	95.88	4	94.20
外部缺陷反射	10	89.69	7	89.86
内外部缺陷透射	6	95.52	4	95.83
内外部缺陷反射	27	79.85	18	81.25

由表 2 可知:不同图像采集方法所建的马铃薯缺陷识别模型在马铃薯缺陷的识别结果上存在差异,而且随缺陷类别的不同,差异也不同。

在马铃薯内部缺陷检测中,透射和反射机器视觉技术建立的识别模型结果差异较大,透射方法所建模型对校正集样本的识别率为 94.59%,对验证集样本进行判别时,只有 1 个缺陷样本误判成合格样本,该模型对验证集总的识别正确率为 96.30%;反射方法所建模型对校正集样本的识别率较低,仅为 54.05%,对验证集样本进行判别时,有 11 个缺陷样本误判为合格样本,总的识别率仅为 59.26%。

在马铃薯外部缺陷检测中,透射和反射机器视

觉技术建立的识别模型结果有一定差异,透射方法所建模型对校正集样本的识别率为 95.88%,对验证集样本进行判别时,只有 4 个缺陷样本误判成合格样本,该模型对验证集总的识别正确率为 94.20%;反射方法所建模型对校正集样本的识别率为 89.69%,对验证集样本进行判别时,有 7 个缺陷样本误判为合格样本,总的识别率仅为 89.86%。

在马铃薯内外部缺陷同时检测中,透射和反射机器视觉技术建立的识别模型结果有差异,透射方法所建模型对校正集样本的识别率为 95.52%,对验证集样本进行判别时,仅 4 个缺陷样本误判成合格样本,总的识别正确率为 95.83%;反射方法所建模型对马铃薯校正集的识别率为 79.85%,对验证集样本进行判别时,有 18 个缺陷样本误判为合格样本,总的识别率仅为 81.25%。

分析 6 种模型的识别结果,发现无论是单独对马铃薯内部、外部缺陷进行检测,还是对内外部缺陷进行同时检测,透射方法均比反射方法精度更高。分析原因是:

(1)在透射方法中,由于光线是透过马铃薯内部,因此透射图像中反映了马铃薯的内部信息,且马铃薯一旦有缺陷,马铃薯缺陷部位的介质成分会发生变化,透过马铃薯缺陷部位的光线路与强度也会相应地发生变化,这种变化会在马铃薯透射机器视觉图像中反映,同时透射机器视觉技术可以克服马铃薯由于形状不规则而引起局部光线较强或者较弱的问题。

(2)在反射方法中,反射机器视觉技术容易受到马铃薯形状不规则等因素的影响,容易造成图像中出现光点较强的部位,这些部位容易引起马铃薯缺陷的误判,且反射图像由于光线只是马铃薯表皮的反射光线,因此不能很好地表征马铃薯的内部信息。

因此透射方法不管是对外部缺陷与内部缺陷分别检测,还是对内外部缺陷同时检测,其检测精度均较反射方法更高。

3 结论

(1)针对反射机器视觉技术同时检测马铃薯内外部缺陷存在检测精度不高的问题,对透射和反射机器视觉技术的检测方法进行了比较研究,提出了一种基于透射机器视觉技术的马铃薯内外部缺陷无损检测方法。针对马铃薯形状复杂,反射图像效果容易受光线的影响,在马铃薯图像特征分割中,提出了上山法结合区域生长法的图像分割方法,该方法对马铃薯透射图像与反射图像特征都有较好的分割

效果。

(2)偏最小二乘-支持向量机所建模型对测试集的识别结果表明,无论是单独对马铃薯内部、外部缺陷进行检测,还是对内外部缺陷同时进行检测,透射方法均比反射方法检测精度更高。在线检测中透射方法不需增加辅助翻转机构便可获取良好的效果,研究结果可为马铃薯缺陷在线检测的机器视觉设备的设计与开发提供技术支撑。

参 考 文 献

1 王泽京,高晓阳,毕阳,等. 基于等效椭圆和 BP 神经网络的马铃薯形状分类研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2011,46(3): 131 – 135.
Wang Zejing, Gao Xiaoyang, Bi Yang, et al. Potato shape classification based on equivalent ellipse and BP neural network[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2011,46(3):131 – 135. (in Chinese)

2 郝敏,麻硕士,郝小冬. 基于 Zemike 矩的马铃薯薯形检测[J]. 农业工程学报, 2010,26(2):347 – 350.
Hao Min, Ma Shuoshi, Hao Xiaodong. Potato shape detection based on Zemike moments[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 347 – 350. (in Chinese)

3 孔彦龙,高晓阳,李红玲,等. 基于机器视觉的马铃薯质量和形状分选方法[J]. 农业工程学报, 2012,28(17):143 – 148.
Kong Yanlong, Gao Xiaoyang, Li Hongling, et al. Potato grading method of mass and shapes based on machine vision[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(17): 143 – 148. (in Chinese)

4 殷勇,陶凯,于慧春. 基于机器视觉的苹果分级中特征参量选择方法[J]. 农业机械学报,2012,43(6):118 – 121.
Yin Yong, Tao Kai,Yu Huichun. Feature selection method for apple grading based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 118 – 121. (in Chinese)

5 丁筠,殷涌光,王旻. 蔬菜中大肠杆菌的机器视觉快速检测[J]. 农业机械学报,2012,43(2):134 – 139.
Ding Yun, Yin Yongguan, Wang Min. Rapid detection based on machine vision for escherichia coli in vegetables[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 134 – 139. (in Chinese)

6 张伟,屠康,刘鹏,等. 基于机器视觉与敲击振动融合的鸭蛋孵化特性检测[J]. 农业机械学报, 2012,43(2):140 – 145.
Zhang Wei, Tu Kang, Liu Peng, et al. Early fertility detection of hatching duck egg based on fusion between computer vision and impact excitation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 140 – 145. (in Chinese)

7 Tao Y, Morrow C T, Heinemann P H, et al. Fourier-based separation technique for shape grading of potatoes using machine vision [J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(3): 949 – 957.

8 Gamal E, Sergio C, Enrique M, et al. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 112(1 – 2): 60 – 68.

9 Heinemann P H, Pathare N P, Morrow C T. An automated inspection station for machine-vision grading of potatoes [J]. Machine Vision and Applications, 1996, 9(1):14 – 19.

10 虞晓娟,廖桂平,李锦卫,等. 基于色度域划分的马铃薯绿皮检测方法[J]. 农业工程学报, 2009,25(增刊 2):314 – 319.
Yu Xiaojuan, Liao Guiping, Li Jinwei, et al. Greened potatoes detection based on hue threshold division[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(Supp.2): 314 – 319. (in Chinese)

11 李锦卫,廖桂平,金晶,等. 基于灰度截留分割与十色模型的马铃薯表面缺陷检测方法[J]. 农业工程学报, 2010,26(10):236 – 242.
Li Jinwei, Liao Guiping, Jin Jing, et al. Method of potato external defects detection based on fast gray intercept threshold segmentation algorithm and ten-color model[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(10): 236 – 242. (in Chinese)

12 郑冠楠,谭豫之,张俊雄,等. 基于计算机视觉的马铃薯自动检测分级[J]. 农业机械学报, 2009,40(4):166 – 168.
Zheng Guannan, Tan Yuzhi, Zhang Junxiong, et al. Automatic detecting and grading method of potatoes with computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 166 – 168. (in Chinese)

13 周竹,黄懿,李小昱,等. 基于机器视觉的马铃薯自动分级方法[J]. 农业工程学报, 2012,28(7):178 – 183.
Zhou Zhu, Huang Yi, Li Xiaoyu, et al. Automatic detecting and grading method of potatoes based on machine vision [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(7): 178 – 183. (in Chinese)

14 周竹,李小昱,高海龙,等. 漫反射和透射光谱检测马铃薯黑心病的比较[J]. 农业工程学报, 2012,28(11):237 – 242.
Zhou Zhu, Li Xiaoyu, Gao Hailong, et al. Comparison of diffuse reflection and transmission mode of visible/near infrared spectroscopy for detecting black heart of potato[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(11): 237 – 242. (in Chinese)

15 魏小彪,王树才. 鸡蛋新鲜度综合无损检测模型及试验[J]. 农业工程学报, 2009,25(3):242 – 247.
Wei Xiaobiao, Wang Shucai. Test and comprehensive model for non-destructive detection of egg freshness[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(3): 242 – 247. (in Chinese)

16 高玮玮,沈建新,王玉亮,等. 基于多模板匹配的局部自适应区域生长法在视网膜内出血自动检测中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2013,33(2):448 – 453.
Gao Weiwei, Shen Jianxin, Wang Yuliang, et al. Algorithm of locally adaptive region growing based on multi-template matching applied to automated detection of hemorrhages[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013, 33(2): 448 – 453. (in Chinese)

17 Zheng Hong, Lu Hongfei. A least-squares support vector machine (LS-SVM) based on fractal analysis and CIELab parameters for the detection of browning degree on mango[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 83:47 – 51.

18 孔锐, 张冰. 一种快速最小二乘支持向量机分类算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(32):168 – 171.
Kong Rui, Zhang Bing. Classification algorithm of fast least squares support vector machine [J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(32): 168 – 171. (in Chinese)

19 陈孝敬, 吴迪, 何勇, 等. 基于小波包和偏最小二乘支持向量机的多光谱纹理图像的大米分类研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(1):222 – 225.
Chen Xiaojing, Wu Di, He Yong, et al. Study on application of multi-spectral image texture to discriminating rice categories based on wavelet packet and support vector machine[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(1): 222 – 225. (in Chinese)

Comparison of Transmission and Reflection Imaging Technologies to Detect Potato Defects Based on Machine Vision Technology

Li Xiaoyu¹ Tao Hailong¹ Gao Hailong¹ Li Peng¹ Huang Tao¹ Sun Jinfeng²
(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China
2. College of Mechanical Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

Abstract: With the aim to solve the accurate rate short of reflection imaging technology to simultaneously detecting internal and external defects of potatoes, a nondestructive test technology based on transmission imaging and machine vision technology was proposed. It is concluded that the combination of hill climbing method and region growing method is the optimal image segmentation method for transmission and reflection images of potato by studying image preprocessing methods. Partial least squares – support vector machine (PLS – SVM) method was employed to establish the potato defects recognition model for transmission and reflection images of potato. In the potato internal defects detection, the classifying correct rates of the transmission and the reflection imaging technology are 96.30% and 59.26% respectively; in the potato external defects detection, the classifying correct rates are 94.20% and 89.86% respectively; in the simultaneous potato internal and external defects detection, the classifying correct rates are 95.83% and 81.25% respectively. The research results show that the transmission method is better than the reflection method in detecting potato internal and external defects alone, or in detecting the internal and external defects simultaneously.

Key words: Potato Defect detection Transmission image Reflection image Machine vision