

基于多源信息融合技术的马铃薯痂疮病无损检测方法

李小昱¹, 陶海龙¹, 高海龙¹, 李鹏¹, 黄涛¹, 任继平²

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 华中农业大学理学院, 武汉 430070)

摘要: 为了提高马铃薯痂疮病无损检测识别精度, 基于机器视觉和近红外光谱的多源信息融合技术, 该文提出 DS (dempster shafer) 证据理论结合支持向量机的马铃薯痂疮病无损检测方法。试验以 360 个马铃薯为研究对象, 在图像特征分割时, 确定了差影法结合马尔可夫随机场模型法为最佳分割方法; 在光谱特征提取时, 确定主成分分析方法为最佳降维方法。采用支持向量机识别方法分别建立机器视觉和近红外光谱的马铃薯痂疮病识别模型, 模型对测试集马铃薯识别率分别为 89.17%、91.67%。采用 DS 证据理论与支持向量机相结合的方法对获取的图像特征和光谱特征进行融合, 建立了基于机器视觉和近红外光谱技术的多源信息融合马铃薯痂疮病检测模型, 该模型对测试集马铃薯识别率为 95.83%。试验结果表明, 该技术对马铃薯痂疮病进行检测是可行的, 融合模型比单一的机器视觉模型或近红外光谱模型识别率高。

关键词: 近红外光谱, 信息融合, 无损检测, 机器视觉, 痂疮病, 马铃薯

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.19.034

中图分类号: TP391.41; O657.33

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-19-0277-08

李小昱, 陶海龙, 高海龙, 等. 基于多源信息融合技术的马铃薯痂疮病无损检测方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 277-284.

Li Xiaoyu, Tao Hailong, Gao Hailong, et al. Nondestructive detection method of potato scab based on multi-sensor information fusion technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(19): 277-284. (in Chinese with English abstract)

0 引言

马铃薯痂疮病是发生在马铃薯块茎表面的一种常见病害, 该病的发生与品种、贮藏环境有关。痂疮病会影响马铃薯块茎的外观、降低马铃薯的食用及深加工价值, 导致市场竞争力低, 从而影响中国马铃薯产业的发展^[1-3]。人工分级对于马铃薯外部缺陷的区分相对较容易, 但对于马铃薯病害的区分相对较难^[4-10]。因此, 研究一种快速、准确马铃薯痂疮病无损检测方法, 对于增加马铃薯的附加值、提升马铃薯市场竞争力、促进马铃薯产业的发展等具有重要的现实意义。

机器视觉技术具有速度快、信息量大的特点, 可以根据农产品的颜色特征进行快速无损检测。目前国内外学者利用机器视觉技术对农产品的病害无损检测进行了相关研究, 房俊龙运用机器视觉技术结合遗传算法与人工神经网络实现了番茄生理病害的无损

检测^[11], 赵丹婷利用图像处理和神经网络技术实现了对大豆灰斑病的无损检测^[12]。由于机器视觉技术只可能采集到农产品的外部可见光波段的颜色信息, 因此单一的机器视觉检测技术存在一定的缺陷性。

近红外光谱分析技术具有快速、无损伤等特点, 在石油、食品、农业等领域已有广泛应用。目前, 国内外学者也开展了基于近红外光谱分析技术的农产品病害无损检测研究, 并取得了较好的效果。王加华等利用近红外光谱技术对苹果褐腐病进行鉴别, 识别正确率达 100%^[13], 本课题组利用近红外光谱技术对板栗的霉变进行检测, 识别正确率达到 97.54%^[14]。然而近红外光谱分析技术只能采集到农产品表面一个较小区域的信息, 而农产品是生物体, 其病害发生的程度在空间上有差异, 所以单独用近红外光谱技术检测农产品病害也有一定的局限性。

针对目前国内外尚无马铃薯痂疮病无损检测的相关研究, 本文提出一种基于机器视觉和近红外光谱的多源信息融合技术马铃薯痂疮病检测方法, 以期多源信息融合技术应用于马铃薯病害检测提供理论依据。

1 材料与采集方法

1.1 马铃薯样本

试验用马铃薯品种为富薯 1 号, 购于甘肃马

收稿日期: 2013-06-19 修订日期: 2013-08-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61275156); 湖北省自然科学基金重点项目 (2011CDA033); 中央高校基本科研业务费专项基金 (0900205116)

作者简介: 李小昱 (1953—), 女, 教授, 博士生导师, 中国农业工程学会高级会员 (E041200068S), 研究方向为智能化检测技术。武汉 华中农业大学工学院, 430070。Email: lixiaoyu@mail.hzau.edu.cn

铃薯生产基地, 单薯质量范围为 102.82 ~ 298.80 g。对马铃薯样本进行形态学测量之后将其放入已经编号的自封袋中。最终确定 240 个马铃薯作为建模集(其中 120 个未患病马铃薯、120 个患病马铃薯), 120 个样品作为验证集(其中 60 个未患病马铃薯、60 个患病马铃薯)^[15]。马铃薯样本如图 1 所示。

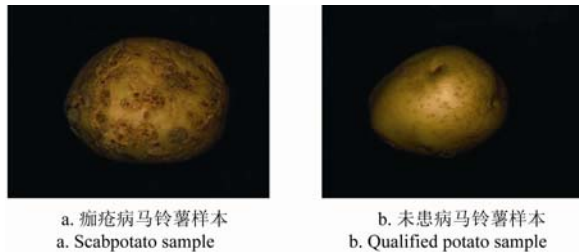
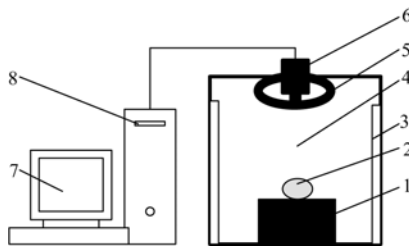


图 1 马铃薯样本图片
Fig.1 Potato sample pictures

1.2 试验装置

试验使用的马铃薯光谱采集仪器为美国 Thermo Electron 公司的 Antaris II 傅里叶变换近红外光谱仪。光谱范围为 4 000 ~ 10 000 cm^{-1} , 分辨率为 8 cm^{-1} , 扫描次数为 32。

马铃薯图像采集装置如图 2 所示, 该装置由光箱、环形光源、立式光源、CCD 图像传感器、采集卡、电缆线、PC 主机组成。CCD 图像传感器型号为 scA1390-17fc (德国, Baseler), 镜头型号为 M1214-MP, 图像采集卡型号为 Meteor2-1394。环形光源置于暗箱顶部, 立式光源置于暗箱 4 个角, 选黑色作为图像背景色。



1. 载物台 2. 马铃薯 3. 立式光源 4. 光箱 5. 环型光源 6. CCD 图像传感器 7. 计算机 8. 采集卡
1. Platform 2. Potato 3. Vertical light source 4. Light source box 5. Ring light source 6. CCD image sensor 7. Computer 8. Acquisition card

图 2 马铃薯图像采集装置示意图

Fig.2 Schematic diagram for potato image acquisition system

1.3 采集方法

1.3.1 马铃薯机器视觉图像采集

将马铃薯患痂疮病的一面进行标记, 再将标记的一面正对着相机放置在载物台上, 打开光源, 调整 CCD 传感器焦距与光圈, 使马铃薯图像最为清晰, 然后固定相机参数, 采集马铃薯机器视觉图像,

所有马铃薯图像在相同条件下进行采集。

1.3.2 马铃薯近红外光谱采集

采集光谱时将马铃薯标记面置于光源上方, 对光谱仪预热 10 min, 然后采集马铃薯漫反射光谱, 每个马铃薯标记面采集 3 次光谱, 将该 3 次采集光谱的平均值作为该马铃薯的原始光谱。所有马铃薯光谱在相同条件下进行采集, 且马铃薯图像采集完成之后立即进行光谱采集。

2 基于机器视觉的马铃薯痂疮病检测

2.1 马铃薯模板分割

由于马铃薯图像在拍摄的过程中容易受到噪声的干扰, 因此需要对图像进行滤波处理, 经过试验确定中值滤波为最佳滤波方法。本文选择在 HIS 空间对马铃薯进行样本模板分割。试验提取 HIS 颜色空间中的 H (色度) 分量, 利用中值滤波对 H 分量进行平滑去噪, 采用 Otsu 阈值方法获得马铃薯二值图像, 经过膨胀、腐蚀和填充处理得到完整马铃薯二值图像模板。

2.2 马铃薯特征分割

分析马铃薯图像, 发现痂疮病马铃薯图像较未患病马铃薯图像表面颜色有一定的差异, 即马铃薯患病部分呈褐色斑点, 该部分亮度值较正常部位较低, 虽然用简单的阈值分割法可以对患病部分进行初步分割, 但是由于马铃薯边缘部分光线也较暗, 因此简单的阈值分割对马铃薯边缘部分的分割效果不明显。因此本文采用差影法结合马尔可夫随机场模型法对马铃薯图像进行特征分割。

差影法图像分割是指对 2 幅输入图像进行图像矩阵对应像素点灰度值的算术运算从而得到目标更为明显的输出图像。该算法在动态视频图像处理以及不同成像方式的图像处理中应用较多。算法的原理为: 假设图像输入为 $A(x, y)$ 与 $B(x, y)$, 图像输出为 $C(x, y)$, 则输出图像满足式 (1)

$$C(x, y) = \begin{cases} 0 & A(x, y) - B(x, y) \leq \delta \\ A(x, y) & A(x, y) - B(x, y) > \delta \end{cases} \quad (1)$$

式中, δ 为差异系数, x, y 为图像矩阵的行和列。

图像处理流程图见图 3: 图像 $A(x, y)$ 为一个 3×3 矩阵, 即 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_9$ (图 3a); 图像 $B(x, y)$ 也为一个 3×3 矩阵, 即 $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_9$ (图 3b); 假设 2 矩阵元素分别对应的元素值为图 3c 和图 3d 所示, 对 2 矩阵进行差值运算, 假定该算法中差异系数 δ 为 20, $\Delta = |X_i - Y_i|, i=1, 2, \dots, 9$; 如果 $\Delta < \delta$, 则 2 幅图像差值处理后相对应点的灰度值为 0; 否则, 相对应点的灰度值为 X_i , 如图 3e 为所处理之后的图像灰度矩阵。

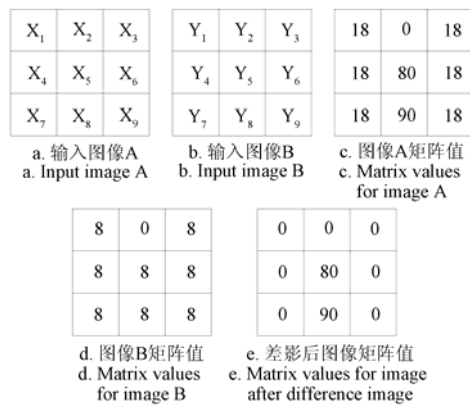


图 3 图像处理流程图

Fig.3 Image processing flow diagram

对于马铃薯图像，处理方法如下：

当 $|A(i, j) - B(i, j)| \leq K$ ，则 $C(i, j) = 0$ ；将 2 幅图像对应元素值作减法运算，其差值小于差异系数，则将图像该点元素值置 0；当 $|A(i, j) - B(i, j)| > K$ ，则 $C(i, j) = A(i, j)$ ；将 2 幅图像对应元素值作减法运算，其差值大于差异系数，则将图像该点像素值置 $A(i, j)$ 。其中 $A(i, j)$ 为测试马铃薯图像， $B(i, j)$ 为未患病马铃薯合成图像， $C(i, j)$ 为处理之后图像， K 为差异系数， i 、 j 分别为图像矩阵的行和列。

对于差影以后的马铃薯图像特征部位有了较大的增强，为了进一步提取马铃薯图像特征，再结合马尔可夫随机场方法提取马铃薯痂疮病特征。

马尔可夫随机场模型法是基于马尔可夫模型和贝叶斯理论而得出的一种新的图像分割方法，马尔可夫模型场可以将不确定性的描述与已有的先验知识进行相应的联系，并利用原有图像，基于统计信息理论与估计理论中的最优准则确定分割图像的目标函数，然后求满足相应条件的目标函数的最优值，从而将图像的分割问题转化为函数最优化问题^[16-19]。经马尔可夫随机模型场方法分割后的图像如图 4 所示。由图 4 可以看出差影法结合马尔可夫随机场模型法可以对马铃薯痂疮病部位进行很好的分割。但同时由于马铃薯形状不规则，在完好马铃薯表面有可能出现光线较强或者光线较暗的区域，该区域会被误分割成特征区域，但该特征区域与痂疮病特征区域颜色特征有差异，因此要进一步建立模型进行识别。

3 基于图像特征的马铃薯痂疮病检测模型的建立

由于马铃薯患病部分和未患病部分颜色有差异，因此本文选择分割后马铃薯特征图像目标区域

12 个颜色特征参数，经归一化处理后作为支持向量机建模的输入矢量。该 12 个颜色特征参数见表 1。

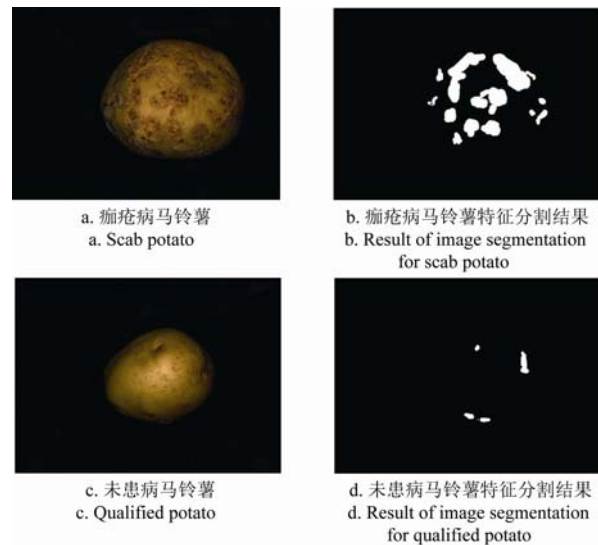


图 4 马铃薯样本特征分割结果

Fig.4 Results of image segmentation for potatoes

表 1 马铃薯特征图像颜色特征参数

Table 1 Potato image color feature parameters

| 序号 Serial number | 颜色特征参数 Parameter of color feature | 参数定义 Definition for parameter |
|---------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | \bar{R} | RGB 颜色空间红色值的平均值 |
| 2 | \bar{G} | RGB 颜色空间绿色值的平均值 |
| 3 | \bar{B} | RGB 颜色空间蓝色值的平均值 |
| 4 | δ_R | RGB 颜色空间红色值的标准差 |
| 5 | δ_G | RGB 颜色空间绿色值的标准差 |
| 6 | δ_B | RGB 颜色空间蓝色值的标准差 |
| 7 | \bar{H} | HIS 颜色空间色调的平均值 |
| 8 | \bar{S} | HIS 颜色空间饱和度的平均值 |
| 9 | \bar{I} | HIS 颜色空间亮度的平均值 |
| 10 | δ_H | HIS 颜色空间色调的标准差 |
| 11 | δ_S | HIS 颜色空间饱和度的标准差 |
| 12 | δ_I | HIS 颜色空间亮度的标准差 |

本文只对痂疮病马铃薯以及未患病马铃薯进行检测，因此检测模型只需要输出 2 类结果，即痂疮病马铃薯与未患病马铃薯，本文将未患病马铃薯样本标记为“1”、将痂疮病马铃薯样本标记为“0”作为支持向量机的输出矢量。采用支持向量机^[20-22]对提取的特征参数建立马铃薯痂疮病识别模型。该模型将校正集中的 8 个未患病马铃薯误判为痂疮病马铃薯，将 16 个痂疮病马铃薯误判为未患病马铃薯，对校正集的识别率为 90.00%；该模型将测试集中的 5 个未患病马铃薯误判为痂疮病马铃薯，将 8 个痂疮病马铃薯误判为未患病马铃薯，对测试集的识别率为 89.17%。

4 基于近红外光谱的马铃薯痂疮病检测

马铃薯原始光谱如图 5 所示, 由于光谱在采集的过程中也会受到噪声的干扰, 因此需要对光谱进行预处理, 从而从光谱中提取有效的反应马铃薯痂疮病的特征信息^[23-24]。本文比较了自动标尺放大 (autoscale)、多元散射校正 (multiplicative scattering

correction)、中心化 (mean center)、去除趋势 (detrend) 等光谱预处理方法对马铃薯痂疮病检测模型识别结果的影响, 预处理试验在 Matlab PLS 工具箱分析软件上进行。不同光谱预处理方法所建立的支持向量机最优模型对马铃薯痂疮病的识别结果如表 2 所示。

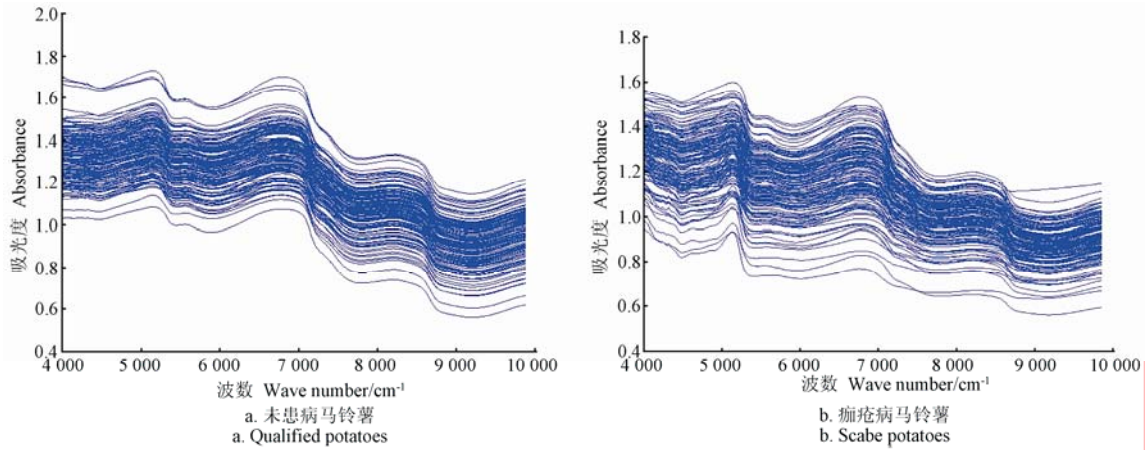


图 5 马铃薯样本近红外光谱
Fig.5 Near infrared spectrum of potato samples

表 2 不同光谱预处理方法所建模型马铃薯痂疮病识别结果

Table 2 Results for potato scab model recognition with different spectral preprocessing methods

| 预处理方法 Preprocessing approach | 主成分因子数 Principal component | 校正集 Calibration set | | | 测试集 Testing set | | |
|---|----------------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | | 误判个数 Wrong number | | 识别率 Discriminating rate% | 误判个数 Wrong number | | 识别率 Discriminating rate% |
| | | 未患病马铃薯 Qualified potato | 痂疮病马铃薯 Scab potato | | 未患病马铃薯 Qualified potato | 痂疮病马铃薯 Scab potato | |
| 无预处理 None | 14 | 9 | 18 | 88.75 | 5 | 9 | 88.33 |
| 自动标尺放大 Autoscale | 13 | 7 | 19 | 89.17 | 4 | 9 | 89.17 |
| 多元散射校正 Multiplicative scattering correction | 10 | 10 | 18 | 88.33 | 6 | 8 | 88.33 |
| 中心化 Mean Center | 12 | 11 | 17 | 88.33 | 6 | 10 | 86.67 |
| 去除趋势 Detrend | 10 | 6 | 12 | 92.50 | 4 | 6 | 91.67 |

由表 2 可看出, 采用去除趋势光谱预处理方法建立的支持向量机模型识别率最高, 其校正集识别率为 92.50%, 测试集识别率为 91.67%。因此, 确定去除趋势校正预处理方法为最优的光谱预处理方法。

光谱数据经去除趋势校正预处理后, 利用主成分分析方法, 获取不同数目的主成分得分值作为支持向量机建模输入, 建立基于近红外光谱的马铃薯痂疮病检测模型, 由试验得出当主成分数为 10 时所建模型对马铃薯痂疮病的识别率最高。因此以提取的 10 个主成分得分值作为输入, 建立支持向量机马铃薯痂疮病识别模型, 该模型对校正集识别率为 92.50%, 对测试集识别率为 91.67%。

5 基于图像与光谱信息融合的马铃薯痂疮病检测

基于机器视觉技术建立的马铃薯痂疮病检测模型对校正集马铃薯的识别率为 90.00%, 对测试集马铃薯的识别率为 89.17%, 由此可见, 图像特征信息对马铃薯痂疮病有所表征。基于近红外光谱技术建立的马铃薯痂疮病检测模型对校正集马铃薯的识别率为 92.50%, 对测试集马铃薯的识别率为 91.67%, 可知近红外光谱信息也对马铃薯痂疮病信息有相应表征。虽然机器视觉技术与光谱技术单独都可以对马铃薯痂疮病进行检测, 但是检测的识别精度还不是很, 为提高马铃薯痂疮病检测的精度, 提出将基于光谱特征信息支持向量机建模结果

与基于图像特征信息支持向量机建模结果采用 DS 证据理论进行决策层信息融合，建立基于机器视觉和近红外光谱信息融合技术的马铃薯痂疮病检测模型。

DS 证据理论由 Dempster 提出，后经其学生 Shafer 进一步发展完善，因此称其为 DS 证据理论。该理论的核心是用先验概率分配函数去得到后验证据区间，后验证据区间对命题的信度和似真度进行量化。DS 证据理论可以将几个证据体的信任函数经过一定的融合规则融合起来，从而构成另外一个新的信任函数，以新的信任函数来对结果进行判决，该方法能很好的解决智能识别中不确定性知识的识别问题^[25-29]。

设 D 表示 X 所能够取值的一个数值集合，数值集合 D 内每个元素互异，因此，称 D 为 X 的辨识框架。定义一个函数 $m: 2^D \rightarrow [0, 1]$ ，该函数满足条件

$$\begin{cases} m(\Phi) = 0 \\ \sum_{A \in 2^D} m(A) = 1 \end{cases}$$

则称 m 为辨识框架 D 上的基本信度分配（简称 BBA），函数 $m(A)$ 表示命题 A 的基本信度值；当 $A \neq D$ 时， $m(A)$ 为 A 的精确信任的程度，也就是对命题 A 的相关支持；当 $A = D$ 时， $m(A)$ 表示对未知结果的分配，也就是命题的不确定性程度。

DS 证据理论信息的融合方法如下：假设 m_1, m_2, \dots, m_n 是辨识框架 D 上各个信息的基本信度分配，则信度分配正交和 $m = m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_n$ 为

$$m(A) = \frac{\sum_{B \cap A_i = A} \prod_{j=1}^n m_j(A_j)}{1 - \sum_{B \cap A_i = \Phi} \prod_{j=1}^n m_j(A_j)} \quad (2)$$

式 (2) 即为 DS 证据理论融合公式，该公式可以把各个信息源的不同证据结合起来，从而得到更为精确的结果。

由于证据理论要求 BBA 必须满足归一化，所以在融合之前应作归一化处理，即

$$\begin{cases} x_i = c_i y_i / \sum_{i=1}^2 y_i & (i=1,2) \\ m(D) = 1 - c_i \end{cases} \quad (3)$$

式中， x_i 为图像与光谱分级结果的输出值； c_1, c_2 为单一机器视觉与近红外光谱分级的正确率； y_i 为 2 种特征信息建模的识别输出； $1 - c_i$ 为 2 种特征信息识别的不确定信息，分配给辨识框架 D 。

将式 (3) 计算得到的归一化 BBA 输入式 (2) 进行图像信息与光谱信息的特征融合。在模型建

立过程中，首先分别提取马铃薯光谱信息与图像特征信息，然后将训练样本输入到支持向量机进行学习，建立单一的图像与光谱特征的识别模型，并对测试样本进行测试，得到识别结果作为证据建立基于 DS 证据理论的识别模型，并对测试样本进行进一步检测。当对测试集 120 个马铃薯进行检测时，基于 DS 证据理论结合支持向量机的融合模型仅对测试集马铃薯中 2 个未患病马铃薯与 3 个痂疮病马铃薯产生误判，对测试集马铃薯的识别率高达 95.83%。该融合模型测试集识别率较单一机器视觉模型提高 6.66%，较单一近红外光谱模型提高 4.16%，即融合模型识别率高于单一信息源模型的识别率。以 360 个马铃薯为研究对象，不同信息源所建模型对测试集马铃薯识别结果如表 3 所示。

表 3 不同信息源模型测试集马铃薯痂疮病识别结果

Table 3 Recognition results for different information models in testing set

| 不同信息源 Different information sources | 测试集误判个数 Wrong number in testing set | | 测试集识别率 Discriminating rate for testing set/% |
|--|--|-----------------------|---|
| | 未患病马铃薯 Qualified potato | 痂疮病马铃薯 Scab potato | |
| 机器视觉 | 5 | 8 | 89.17 |
| 近红外光谱 | 4 | 6 | 91.67 |
| 信息融合 | 2 | 3 | 95.83 |

6 结 论

本文以马铃薯痂疮病为研究对象，采用机器视觉技术和近红外光谱技术分别对马铃薯痂疮病进行检测，并采用支持向量机识别方法分别建立了机器视觉技术和近红外光谱技术的马铃薯痂疮病识别模型，该模型对测试集马铃薯识别率分别为 89.17%、91.67%。

为了进一步提高马铃薯痂疮病无损检测识别精度，提出基于 DS 证据理论结合支持向量机的机器视觉和近红外光谱的多源信息融合技术马铃薯痂疮病无损检测方法。本文以 360 个马铃薯为研究对象，采用 DS 证据理论与支持向量机相结合的方法对获取的图像特征和光谱特征进行融合，建立了基于近红外光谱和机器视觉技术的多源信息融合马铃薯痂疮病检测模型，本模型对测试集马铃薯识别率为 95.83%，较单一机器视觉技术提高 6.66%，较单一近红外光谱技术提高 4.16%。

试验结果表明，基于机器视觉和近红外光谱的多源信息融合技术进行马铃薯痂疮病快速无损检测的方法是可行的，融合模型较单独采用机器视觉技术或近红外光谱分析技术建立模型的识别率均有提高。

[参 考 文 献]

- [1] 赵伟全, 杨文香, 刘大群, 等. 中国马铃薯疮痂病研究初报[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(6): 74—77.
Zhao Weiquan, Yang Wenxiang, Liu Daqun, et al. Primary study on the potato scab in China[J]. Journal of Agriculture University of Hebei, 2004, 27(6): 74—77. (in Chinese with English abstract)
- [2] 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.
- [3] 谢从华. 马铃薯产业的现状与发展[J]. 华中农业大学学报, 2012, 97(1): 1—4.
Xie Conghua. Potato industry: Status and development[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2012, 97(1): 1—4. (in Chinese with English abstract)
- [4] 郝敏, 麻硕士, 郝小冬. 基于 Zernike 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(2): 347—350. (in Chinese with English abstract)
- [5] 郑冠楠, 谭豫之, 张俊雄, 等. 基于机器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 of Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 166—168. (in Chinese with English abstract)
- [6] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(10): 236—242. (in Chinese with English abstract)
- [7] 应义斌, 饶秀勤, 赵匀, 等. 机器视觉技术在农产品品质自动识别中的应用[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 103—108.
Ying Yibing, Rao Xiuqing, Zhao Yun, et al. Application of machine vision technique to quality automatic identification of agricultural products[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2000, 16(1): 103—108. (in Chinese with English abstract)
- [8] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(17): 143—148. (in Chinese with English abstract)
- [9] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(Supp.2): 314—319. (in Chinese with English abstract)
- [10] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(11): 237—242. (in Chinese with English abstract)
- [11] 房俊龙, 张长利, 潘伟, 等. 用遗传算法训练的人工神经网络识别番茄生理病害果[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 113—116.
Fang Junlong, Zhang Changli, Pan Wei, et al. Automated identification of tomatoes with diseases using artificial neural network trained with genetic algorithms[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(3): 113—116. (in Chinese with English abstract)
- [12] 赵丹婷, 柴玉华, 张长利. 基于图像处理技术的大豆灰斑病的检测技术研究[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(4): 119—123.
Zhao Danting, Chai Yuhua, Zhang Changli. Inspection of soybean frog-eye spot based on image procession[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(4): 119—123. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王加华, 孙旭东, 潘璐, 等. 基于可见/近红外能量光谱的苹果褐腐病和水心鉴别[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(9): 2098—2102.
Wang Jiahua, Sun Xudong, Pan Lu, et al. Discrimination of brown heart and watercore of apples based on energy spectrum of visible/near infrared transmittance[J].

- Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(9): 2098—2102. (in Chinese with English abstract)
- [14] 周竹, 刘洁, 李小昱, 等. 霉变板栗的近红外光谱和神经网络方法判别[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 109—112. Zhou Zhu, Liu Jie, Li Xiaoyu, et al. Discrimination of moldy Chinese chestnut based on artificial neural network and near infrared spectra[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(3): 109—112. (in Chinese with English abstract)
- [15] NY/T 1066-2006, 马铃薯等级规格[S].
- [16] Zhou W T, Song C Z. Image segmentation by data driven markov chain monte carlo[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 657—673.
- [17] Choi H, Baraniuk R G. Multiscale image segmentation using wavelet-domain hidden markov models[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(9): 1309—1321.
- [18] 李旭超, 朱善安. 图像分割中的马尔可夫随机场方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(5): 789—798. Li Xuchao, Zhu Shan'an. A survey of the markov random field method for image segmentation[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(5): 789—798. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王志超, 刘惠义. 一种基于隐马尔可夫模型的人脸识别方法[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(2): 304—307. Wang Zhichao, Liu Huiyi. A face recognition approach based on hidden markov model[J]. Computer Application and Software, 2013, 30(2): 304—307. (in Chinese with English abstract)
- [20] 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 with English abstract)
- [21] 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 with English abstract)
- [22] 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.
- [23] 刘燕德, 彭彦颖, 高荣杰, 等. 基于 LED 组合光源的水晶梨可溶性固形物和大小在线检测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 338—343. Liu Yande, Peng Yanying, Gao Rongjie, et al. Online detection of soluble solids content and size of crystal pear based on LEDs light source-detector[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(11): 338—343. (in Chinese with English abstract)
- [24] 刘燕德, 罗吉, 陈兴苗. 可见/近红外光谱的南丰蜜桔可溶性固形物含量定量分析[J]. 红外与毫米波学报, 2008, 27(2): 119—122. Liu Yande, Luo Ji, Chen Xingmiao. Analysis of soluble solid content in nanfeng mandarin fruit with visible near infrared spectroscopy[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2008, 27(2): 119—122. (in Chinese with English abstract)
- [25] 黄金, 程咏梅, 皮燕妮. 基于神经网络和证据理论的图像目标识别研究[J]. 计算机仿真, 2005, 22(11): 184—186. Huang Jin, Cheng Yongmei, Pi Yanni. Airplane image recognition based on BP neural network and D-S evidence reasoning[J]. Computer Simulation, 2005, 22(11): 184—186. (in Chinese with English abstract)
- [26] 李烨, 蔡云泽, 尹汝泼. 基于证据理论的多类分类支持向量机集成[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(4): 571—578. Li Ye, Cai Yunze, Yin Rupo. Support vector machine ensemble based on evidence theory for multi-class classification[J]. Journal of Computer Research and Development, 2008, 45(4): 571—578. (in Chinese with English abstract)
- [27] 李先锋, 朱伟兴, 花小朋, 等. 基于 D-S 证据理论的决策级多特征融合苹果分级方法[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 188—192. Li Xianfeng, Zhu Weixing, Hua Xiaopeng, et al. Multi-feature decision fusion method based on D-S evidence theory for apple grading[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 188—192. (in Chinese with English abstract)
- [28] Shafer G, Logan R. Implementing Dempster's rule for hierarchical evidence[J]. Artificial Intelligence, 1987, 33(3): 271—298.
- [29] 王丽艳. 证据理论和改进神经网络相融合的图像识别算法[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(2): 148—152. Wang Liyan. Image recognition algorithm based on evidence theory and improved neural network[J]. Microelectronics and Computer, 2013, 30(2): 148—152. (in Chinese with English abstract)

Nondestructive detection method of potato scab based on multi-sensor information fusion technology

Li Xiaoyu¹, Tao Hailong¹, Gao Hailong¹, Li Peng¹, Huang Tao¹, Ren Jiping²

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. College of Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: The common scab is a skin disease of the potato tuber that decreases the quality of the product and significantly influences the price, so it is very necessary to find a quickly nondestructive way to detect potato scabs. In this study, machine vision technology and near infrared spectroscopy analysis technology were used to detect potato scabs. In order to improve the potato scab nondestructive recognition accuracy, multi-sensor information fusion technique was proposed to detect potato scabs based on machine vision and near infrared spectroscopy. DS evidence theory combined with support vector machine method was used for multi-sensor information fusion technique. In the research, 360 potatoes were taken as testing samples (180 qualified potatoes and 180 scab potatoes). This study concluded that the difference image method combined with the Markov random field model method was the best segmentation method in the segmentation of image characteristics through the image preprocessing. And the principal component analysis method was the best method in the spectral feature extraction through the spectroscopy preprocessing. This study compared several different spectral preprocessing methods to preprocess the near infrared spectroscopy in near infrared spectroscopy preprocessing. And from the discriminating rate of the support vector machine model with the pretreated near infrared spectroscopy, it was concluded that the dimension reduction method was the best spectroscopy preprocessing method. The support vector machine method was a good pattern recognition method, so this study used the support vector machine method to detect potato scabs based on machine vision technology and near infrared spectroscopy analysis technology. The support vector machine models to discriminate potato scab were built based on machine vision technology and near infrared spectroscopy analysis technology respectively. The discriminating rates of these two models were 89.17% and 91.67% in testing sets respectively. To improve the discriminating rates of potato scab detecting with machine vision and near infrared spectroscopy respectively, a multi-sensor information fusion technique based on near infrared spectroscopy and machine vision method was used to detect the potato scab. DS evidence theory was a good information fusion method, so DS evidence theory combined with support vector machine method model was built with image characteristics and spectral characteristics. The multi-sensor information fusion model was used to detect the testing potato samples and the discriminating rates were 95.83% in the testing set. Compared with the results from the three detecting models, it was concluded that the discriminating rate of the model built with multi-sensor information fusion was 6.66% higher than the model built with machine vision technology, and 4.16% higher than the model built with near infrared spectroscopy analysis technology. The results indicated that it was feasible to detect potato scabs by using a multi-sensor information fusion technique based on near infrared spectroscopy and machine vision. The recognizing rate of the multi-sensor information fusion model was higher than that of the model built by machine vision technology or near infrared spectroscopy analysis technology respectively. That is to say multi-sensor information fusion technology is better for potato scab nondestructive detecting than machine vision technology respectively or near infrared spectroscopy analysis technology respectively. The research can provide references for potato disease detecting with a multi-sensor information fusion technique.

Key words: near infrared spectroscopy, information fusion, nondestructive examination, machine vision, scab disease, potato

(责任编辑: 张俊芳)