

基于机器视觉技术的烤烟鲜烟叶成熟度检测

史龙飞, 宋朝鹏, 贺帆, 段史江, 王涛, 王梅, 宫锦, 宫长荣*

(河南农业大学 烟草学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 为准确判定烟叶采收成熟度, 以不同成熟度中部烟叶为材料, 利用机器视觉技术提取不同成熟度烟叶图像的颜色和纹理特征值, 采用主成分分析法对 3 个颜色特征值(色调、饱和度、亮度)和 5 个纹理特征值(角二阶矩、相关度、熵、对比度、逆差距)进行优化, 利用 BP 神经网络建立烟叶成熟度检测模型。结果表明, 采用前 4 个主成分可综合反映 3 个颜色特征值和 5 个纹理特征值的分级信息, 实现了参数的优化; 在图像信息主成分因子数为 4, 中间节点数为 16 时, 该识别模型最佳, 模型平均识别率为 93.67%, 表明基于机器视觉技术对烤烟鲜烟叶成熟度的检测是可行的。

关 键 词: 烤烟; 成熟度; 机器视觉; BP 神经网络

中图分类号: TS41⁺¹ 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2012)04-0446-05

Determination of the maturity grades of fresh leaves for flue-cured tobacco

SHI Long-fei, SONG Chao-peng, HE Fan, DUAN Shi-jiang, WANG Tao, WANG Mei, GONG Jin, GONG Chang-rong*

(College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to realize accurate and objective determination of the maturity grades of tobacco leaves. Middle part of tobacco leaves with different grades of maturity was used to extract color and vein characteristics with machine vision technique. Three color characteristics (H, S, V) and five vein characteristics (energy, correlation degree, entropy, contrast, inverse difference moment) were optimized by principal components analysis. Maturity grading models were built by back-propagation(BP)neural network. The result showed that the first four principal components together could represent the information of the three color characteristics and the five vein characteristics needed for grading, which realized the optimization of parameters. When the number of principal component factor was 4 and the number of nodes of hidden layer was 16, this grading model showed the best performance with average recognition rate of 93.67%. The overall results show that it is feasible to discriminate the maturity grades of fresh tobacco leaves with machine vision technique.

Key words: flue-cured tobacco; maturity; machine vision; back propagation neural networks

目前, 烟农种烟积极性普遍不高^[1], 劳动强度大、成本高是主要制约因素。采摘烟叶是烟叶种植过程中主要的用工投入, 保证适宜的烟叶采收成熟度是获得较好烟叶收益的前提, 而烟农和技术员依然是采用传统的方式进行烟叶采摘, 成熟度很难保持一致, 导致烘烤过程中同一烤房不同烟叶烘烤特性不一致, 烤后烟出现烤青、烤黑等现象, 严重影

响经济效益。张惠民等^[2]利用数学语言描述了烟叶分级模型, 建立了基于图像特征的烤烟烟叶分级系统模型; 马文杰等^[3-4]通过图像投射研究了烟叶图像分割技术及投射图像颜色特征在烟叶识别中的应用, 提高了烟叶图像分割技术的可信度和烟叶分组识别的准确率; 段史江等^[5]利用图像处理技术和 BP 神经网络检测了烘烤过程中烟叶 β -胡萝卜素的

收稿日期: 2012-03-28

基金项目: 国家烟草专卖局资助项目(3300806156)

作者简介: 史龙飞(1986—), 男, 河南荥阳人, 硕士研究生, 主要从事烟草调制研究, shilongfei2012@163.com; *通信作者, gongchr009@126.com

含量。机器视觉技术应用于烤烟成熟度检测方面的报道较少。笔者采用机器视觉技术提取烟叶的颜色及纹理信息,建立 BP 神经网络模式识别系统对烟叶成熟度进行检测,以消除烟叶生产中人为因素的不确定性,为准确、快速实现对烟叶成熟度的判断提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与主要仪器设备

供试烤烟品种为云烟 87。选取大田烟株长势基本一致、叶色基本一致且无病虫害的烟株挂牌标识,以中部叶(11~12 位叶)为试验材料。

主要仪器设备:参照文献[6]中的方法制作图像采集箱并略加改进。箱体规格为 140 cm×90 cm×140 cm,箱体外围用黑色薄膜遮挡,顶部固定数码相机,照明光源为 2 支环形发光二极管,灯管长度与箱体相当,以保证箱体内光线均匀,背景为白色的载样台;尼康 VR10-30/3.5 数码相机,分辨率设为 3 872×2 592 像素。

1.2 烟叶原始图像采集

选用欠熟(参考叶龄为 60 d)、适熟(叶龄 65 d)、过熟(叶龄 72 d)3 个成熟度的中部叶作为试验对象,于 17:00 采集样品,采样后立即放入图像采集箱进行拍摄。欠熟烟叶外观特征:主脉全白、发亮,支脉 1/3 变白,叶面黄色明显。适熟烟叶外观特征:主脉全白、发亮,支脉 1/2 变白,叶色为黄色,且均匀,出现黄白淀粉粒成熟斑,叶面起皱,枯尖焦边。过熟烟叶外观特征:支脉和主脉全白、发亮,叶面黄泡变白,成熟斑块增多。

1.3 烟叶图像消噪、分割及轮廓提取处理

分别采用均值滤波、中值滤波和维纳滤波对图像进行滤波处理。经分析,维纳滤波后的图像细节信息保存较完整,图像清晰度较高,能够达到较高的消噪效果。彩色图像要比灰度图像包含更多的信息,更能够满足试验的需求。图像分割是成功进行图像分析和理解的基础。采用基于灰度等级处理的

最大类间方差法(Ostu)的图像运算方法进行图像分割^[7],通过对噪声含量少、边缘保存较完整的图像进行处理,利用 Graythresh 函数求取灰度阈值,通过二值化处理将目标图像从原图像中提取出来,然后通过膨胀、腐蚀等形态学滤波去除冗余信息,最后经合成运算得到从背景中分割出来的彩色烟叶图像^[8]。

1.4 烟叶特征值提取

1.4.1 颜色特征值提取

烟叶的成熟度检测是通过描述烟叶颜色特征及纹理特征间接测定的。目前已经建立了十几种颜色模型,应用最广泛的彩色空间是红绿蓝(RGB)空间。HSV 色彩空间是比较符合人们视觉色彩感知的空间,色调(H)表示不同的颜色,饱和度(S)表示颜色的深浅,亮度(V)表示颜色的明暗程度。本试验采用 HSV 色彩空间提取颜色特征值。

1.4.2 纹理特征值提取

不同成熟度的烟叶含水率和干物质含量不同,在相同条件下,不同成熟度烟叶的纹理特征会有不同程度的变化。灰度共生矩阵能够反映图像纹理的方向、相邻间隔以及变化幅度。

参照文献[9]中的方法,从 15 个灰度共生矩阵特征参数中选取 5 种常用的特征统计量(角二阶矩、熵、相关度、对比度、逆差距)来提取烟叶图像的纹理特征。

1.5 烟叶图像特征值的主成分分析

将提取的 3 个颜色特征值 H 、 S 、 V 和 5 个纹理特征值 W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 、 W_5 表示为矩阵 X 。不同变量有不同的量纲,由于不同量纲引起的各个变量取值的分散程度差异较大,为消除量纲的影响,将矩阵 X 标准化为 X^* 。

$$X^* = \begin{bmatrix} X_{11}^* & X_{21}^* & \cdots & X_{m1}^* \\ X_{12}^* & X_{22}^* & \cdots & X_{m2}^* \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ X_{1n}^* & X_{2n}^* & \cdots & X_{mn}^* \end{bmatrix}$$

式中, m 为试验样本数, n 为特征值数。本试

验中 $m=240$, $n=8$ 。利用 X^* 的相关矩阵 R 作主成分分析, 则 X^* 的第 i 个主成分为: $Y_i^* = (e_i^*)^T X^*$, $e_i^* = (e_{i1}^*, e_{i2}^*, \dots, e_{ip}^*)$ 为相应于特征值的正交单位特征向量。

1.6 网络训练与烟叶成熟度识别系统的建立

识别模型采用具有高度非线性关系映射的3层BP神经网络对烟叶成熟度进行识别^[10]。神经网络分为输入层、隐含层、输出层。将优化后的4个主成分因子作为输入层。输出层为3个单元。采用二进制编码代表不同成熟度, 欠熟表示为1、0、0, 适熟表示为1、0、1, 过熟表示为0、0、1。隐含层采用正切传递函数(tansig), 输出层采用对数传递函数(logsig), 使网络输出范围为0~1, 适合接近0或1的网络输出编码值, 网络训练函数采用trainscg, 选择网络节点数为16, 训练终止条件为训练集误差的均方根之和小于0.0001^[11]。

选取欠熟、适熟、过熟烟叶各80片作为样本。从3个成熟度样品中各随机选取60片(共180片)作为训练样本, 各剩余20片作为测试样本。在网络训练前, 选用归一化函数premnmx对训练的数据进行归一化处理, 避免数据饱和现象, 加快网络收敛速度^[12]。

2 结果与分析

2.1 不同成熟度烟叶的颜色特征值

由表1可知, 烟叶在成熟过程中色调值呈下降趋势。欠熟烟叶色调值分布在76.392°~87.048°, 适熟烟叶色调值分布在62.46°~72.79°, 过熟烟叶色调值分布在58.86°~64.37°。适熟期与过熟期有少量色调值在62°~64°。不同成熟度图像的亮度和饱和度变化不大, 说明色调值对烤烟烟叶成熟度的影响起主导作用。

表1 不同成熟度烟叶的颜色特征值

Table 1 Color features of tobacco with different grades of maturity

| 成熟度 | H/(°) | | | S/(°) | | | V/(°) | | |
|-----|--------|---------|---------------|-------|---------|-------------|-------|---------|-------------|
| | 均值 | 方差 | 阈值区间 | 均值 | 方差 | 阈值区间 | 均值 | 方差 | 阈值区间 |
| U | 82.500 | 2.780 0 | 76.392~87.048 | 0.605 | 0.020 8 | 0.566~0.646 | 0.453 | 0.018 9 | 0.423~0.478 |
| R | 68.700 | 2.920 0 | 62.460~72.972 | 0.545 | 0.017 2 | 0.517~0.576 | 0.571 | 0.038 9 | 0.496~0.624 |
| O | 62.400 | 1.610 0 | 58.860~64.368 | 0.624 | 0.034 8 | 0.552~0.701 | 0.519 | 0.037 8 | 0.435~0.595 |

U、R、O分别示欠熟、适熟、过熟; 下同。

2.2 不同成熟度烟叶的纹理特征值

从表2可知, 烟叶图像的角二阶矩值和逆差距值由欠熟到过熟逐渐增大, 说明欠熟烟叶表面光滑, 纹理较细并且较不规则, 随着烟叶逐渐成熟, 烟叶表面不断皱缩, 规则程度增加。欠熟烟叶图像熵值最大, 过熟烟叶图像熵值最小, 说明烟叶从欠熟到过熟过程中纹理复杂程度逐渐减小。欠熟烟叶图像对比度明显大于适熟和过熟烟叶图像的对比度, 说明欠熟烟叶纹理清晰度要高于适熟和过熟烟叶纹理清晰度。不同成熟度烟叶的图像相关度分析结果显示, 随着成熟度的增加, 图像相关度先下降后增加。以上5个纹理特征值从不同角度对不同成熟度烟叶的纹理信息进行描述, 较好地反映了烟叶在成熟过程中的图像纹理变化。

表2 不同成熟度烟叶的纹理特征值

Table 2 Vein features of tobacco with different grades of maturity

| 特征参数 | 成熟度 | 均值 | 方差 | 阈值区间 |
|------|-----|-------|----------|-------------|
| 角二阶矩 | U | 0.147 | 0.006 02 | 0.139~0.159 |
| | R | 0.267 | 0.029 80 | 0.219~0.325 |
| | O | 0.297 | 0.022 00 | 0.262~0.346 |
| 相关度 | U | 2.300 | 0.082 40 | 2.198~2.573 |
| | R | 0.680 | 0.006 40 | 0.587~0.696 |
| | O | 1.327 | 0.035 20 | 1.243~1.343 |
| 熵 | U | 8.441 | 0.146 00 | 8.153~8.618 |
| | R | 7.152 | 0.309 00 | 6.557~7.647 |
| | O | 6.782 | 0.204 00 | 6.358~7.150 |
| 对比度 | U | 1.686 | 0.152 00 | 1.604~1.757 |
| | R | 0.914 | 0.115 00 | 0.833~0.985 |
| | O | 0.833 | 0.096 30 | 0.746~0.910 |
| 逆差距 | U | 1.634 | 0.011 70 | 1.620~1.653 |
| | R | 1.805 | 0.011 00 | 1.790~1.823 |
| | O | 1.823 | 0.013 60 | 1.806~1.842 |

2.3 图像特征值主成分分析

模型的输入变量主成分因子数过大,会降低模型的鲁棒性,同时引入过多冗余信息会导致数据处理时间过长;主成分因子数过少,将导致信息损失及模型的识别率降低;因此,建立模型须首先对特征值进行优化,选择最佳主成分因子^[13]。

根据累积贡献率确定主成分个数(表 3),前 4 个主成分累计贡献率为 96.083 6%,即利用前 4 个主成分可以提取 8 个特征值的 96.083 6%的信息,基本能够反映 8 个特征值的参数信息,因此,采用前 4 个主成分进行烟叶成熟度判定。

表 3 图像特征值及其贡献率

| 主成分 | 特征值 | 贡献率/% | 累计贡献率/% |
|---------|---------|----------|----------|
| Y_1^* | 3.592 2 | 44.902 1 | 44.902 1 |
| Y_2^* | 1.900 1 | 23.750 8 | 68.652 9 |
| Y_3^* | 1.357 9 | 16.974 0 | 85.626 9 |
| Y_4^* | 0.836 5 | 10.456 7 | 96.083 6 |
| Y_5^* | 0.215 6 | 2.694 8 | 98.778 4 |
| Y_6^* | 0.051 4 | 0.642 5 | 99.420 9 |
| Y_7^* | 0.041 4 | 0.517 2 | 99.938 1 |
| Y_8^* | 0.005 0 | 0.061 9 | 100 |

2.4 烤烟鲜烟叶成熟度模型预测结果

由表 4 可知,欠熟和适熟的识别率均达到 95%,过熟识别率为 90%,平均识别率为 93.67%,其中,1 个欠熟误判为适熟,1 个适熟误判为欠熟,2 个过熟误判为适熟。出现误判的原因可能是特征值受到相机拍摄角度以及样本数的影响,不可能包括自然条件下所有烟叶生长的情况,当输入实际特征值时,模型进行插值运算,如果和样本特征值不吻合,模型则可能出现误判。该模型预测步数为 3 548 步,预测时间为 15 s,训练回归率为 100%。

表 4 模型的识别结果

| 成熟度 | 样本数/个 | 样本识别数/个 | | | 识别率/% |
|-----|-------|---------|----|----|-------|
| | | U | R | O | |
| U | 20 | 19 | 1 | 0 | 95 |
| R | 20 | 1 | 19 | 0 | 95 |
| O | 20 | 0 | 2 | 18 | 90 |

3 结论与讨论

鲜烟叶的采收成熟度影响其烘烤特性,并最终决定烤后烟叶的内在品质和外观质量^[14]。本研究采用机器视觉技术对不同成熟度烟叶进行图像处理,利用 Graythresh 函数、Ostu 算法等对图像进行了滤波、分割、边缘检测及填充合成等处理,较好地保留了图像的颜色和纹理特征,并提取了烟叶图像的 HSV 颜色特征值以及角二阶矩、相关度、熵等纹理特征值。采用主成分分析法将颜色及纹理特征值优化后的前 4 个主成分作为 BP 神经网络的输入层,成功建立了判定烟叶成熟度的 BP 神经网络识别模型。该模型判断准确率达到 93.67%,预测步数为 3 548 步,预测时间为 15 s,模型训练时的回归率为 100%,表明利用机器视觉技术对烤烟鲜烟叶成熟度进行检测是可行的。

李佛琳等^[15-17]分别通过高光谱仪器对不同成熟度鲜烟叶的可见/近红外(350~1 650 nm)光谱进行测定和分析,以及通过计算鲜烟叶中叶绿素相对值 2 种方法对鲜烟叶成熟度进行判定,2 种模型的识别准确率均在 90%以上。李向阳等^[18]通过分析室内烟叶的光谱红边位置与成熟叶片和过熟叶片的关系,建立回归模型估测烟叶成熟度。由于烟叶成熟过程中的颜色和组织结构均随成熟度的增加不断变化^[19-20],因此,仅以颜色作为判断成熟度的标准并不全面。本研究中利用 BP 神经网络建立的成熟度检测模型准确率高,方法简便,应用成本较低,为准确判断烟叶成熟度提供了新的思路。

参考文献:

- [1] 苏新宏,郭三党.现代烟草农业背景下烟农的意愿和行为特征[J].中国烟草学报,2010,16(1):76-80,84.
- [2] 张惠民,韩立群,段正刚.基于图像特征的烟叶分级[J].武汉大学学报:信息科学版,2003,28(3):359-362.
- [3] 马文杰,贺立源,徐胜祥,等.基于烤烟透射特征的烟叶图像分割研究[J].农业工程学报,2006,22(7):134-137.
- [4] 刘华波,贺立源,马文杰,等.透射图像颜色特征在

- 烟叶识别中应用的探索[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 169-171.
- [5] 段史江, 马力, 史龙飞, 等. 基于图像处理的密集烘烤过程烟叶 β -胡萝卜素含量的检测[J]. 湖南农业大学: 自然科学版, 2011, 37(5): 490-493.
- [6] 马文杰, 贺立源, 刘华波, 等. 成像环境因素对烟叶图像采集结果的影响及校正研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(12): 2615-2620.
- [7] 安秋, 李志臣, 姬长英, 等. 基于光照无关图的农业机器人视觉导航算法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 208-212.
- [8] 刘木华, 赵杰文, 邹小波. 牛胸椎骨图像中软骨和硬骨区域的自动分割技术[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8), 110-113.
- [9] 冯建辉, 杨玉静. 基于灰度共生矩阵提取纹理特征图像的研究[J]. 北京测绘, 2007(3): 19-22.
- [10] 张烈平, 曾爱群, 陈婷. 基于计算机视觉和神经网络的芒果检测与等级分类[J]. 农机化研究, 2008(10): 57-60.
- [11] 展慧, 李小昱, 王为, 等. 基于机器视觉的板栗分级检测方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 327-331.
- [12] 尹建军, 毛罕平, 王新忠, 等. 自然条件下番茄成熟度机器人判别模型[J]. 农业机械学报, 2009, 40(10): 146-150, 168.
- [13] 陈博, 欧阳竹. 基于BP神经网络的冬小麦耗水预测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 81-86.
- [14] 宫长荣. 烟草调制学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 109-116.
- [15] 李佛琳, 赵春江, 王纪华, 等. 一种基于反射光谱的烤烟鲜烟叶成熟度测定方法[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(10): 51-55.
- [16] 李佛琳, 赵春江, 王纪华, 等. 不同成熟度烤烟鲜叶的高光谱响应及其判别分析[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2008, 39(6): 565-569.
- [17] 李佛琳, 赵春江, 刘良云, 等. 烤烟鲜烟叶成熟度的量化[J]. 烟草科技, 2007(1): 54-58.
- [18] 李向阳, 刘国顺, 史周, 等. 利用室内光谱红边参数估测烤烟叶片成熟度[J]. 遥感学报, 2007, 11(2): 269-275.
- [19] 霍开玲, 宋朝鹏, 武圣江, 等. 不同成熟度烟叶烘烤中颜色值和色素含量的变化[J]. 中国农业科学, 2011, 44(10): 2013-2021.
- [20] 黄勇, 周冀衡, 郑明, 等. 不同成熟度烟叶结构显微分析[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(2): 5-8.

责任编辑: 杨盛强