

# 基于计算机视觉的番茄缺素神经网络识别

毛罕平<sup>1</sup>, 吴雪梅<sup>2</sup>, 李萍萍<sup>1</sup>

(1. 江苏大学农业工程研究院, 镇江 212013; 2. 贵州大学机械工程与自动化学院, 贵阳 550025)

**摘 要:** 提出了采用不受植株叶片大小和背景影响的色调域平均百分率直方图来提取番茄叶片的颜色特征, 用于识别番茄是否缺乏营养元素; 提出了采用基于最大差分算子的色调域百分率直方图法、灰度-梯度共生矩阵法和小波分析法提取番茄缺素叶片的纹理特征, 用于识别番茄缺何种营养元素; 设计了番茄缺 N、缺 Fe、缺 Mg 的 BP 神经网络系统, 综合识别结果为: 正常中叶、正常新叶、缺铁新叶、缺氮中叶、缺镁中叶的识别准确率依次为 95%、92.5%、92.5%、87%、87%。

**关键词:** 计算机视觉; 人工神经网络; 缺素; 番茄

**中图分类号:** TP274; S126

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2005)08-0106-04

毛罕平, 吴雪梅, 李萍萍. 基于计算机视觉的番茄缺素神经网络识别[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 106-109

Mao Hanping, Wu Xuemei, Li Pingping. Recognition of tomato nutrient deficiency using artificial neural network based on computer vision[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 106-109 (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

高等植物缺少必需的营养元素, 均会导致各种症状的出现, 如变色、变形、生长受阻等, 影响作物的产量和品质。在缺素初期用计算机视觉技术及时判断缺素症状并采取相应措施, 可以把损失降到最低点。文献[1]利用计算机视觉技术分别对缺乏钙、铁、镁营养元素的苤蓝叶片进行了露天拍摄图像, 并进行了一些基础研究, 用阈值法分割出叶片上病态部分和正常部分, 计算出两者的面积比作为特征, 但是效果不好。文献[2][3]利用计算机视觉技术对有病斑的作物叶子进行采集, 研究正常部分和病斑部分的反射光谱曲线来判断作物的病因。文献[4]将一定色调变化范围的直方图取值直接作为颜色特征参数, 输入到遗传神经网络中, 番茄营养失调症的最低正确识别率为 95%, 梨树失调症的最低正确识别率为 95%, 其研究对象是营养失调严重的植物叶片。文献[5][6]利用计算机视觉技术对缺乏氮、钾、营养元素的番茄叶片采样, 提出不受对象形状大小和背景影响的百分率直方图法提取叶片的颜色和纹理特征, 并把图像数据经傅立叶变换到频域中, 进行特征的提取。文献[7]应用模糊 K-近邻分类法识别番茄缺素的情况, 它适合于样本较少时的识别。神经网络分类器与统计分类器相比较, 它具有容错能力强、自学习自组织自适应能力、非线性动态能力的优点, 随着样本量的提高, 识别精度会不断提高。本研究在文献[5][6][7]研究的基础上, 应用计算机视觉技术, 进一步探索番茄缺素的特征和纹理特征的提取方法, 将这些特征作为神经网络模式识别的输入, 建立番茄叶片缺素初期的神经网络识别系统。

## 1 样本培育与图像采集

### 1.1 样本培育

为了获得缺乏氮(N)、铁(Fe)、镁(Mg)营养元素的番茄缺素样本和正常样本, 对番茄的生长进行人为的控制。进行了三次样本培育的试验, 时间分别是 2003 的 3 月到 7 月和 2003 的 7 月到 10 月, 地点是江苏大学连栋塑料温室, 采用无土栽培盆栽法, 基质是珍珠岩, 种子是番茄大王。营养液选用日本的山崎配方<sup>[8]</sup>, 在番茄的生长初期用正常的营养液进行灌溉, 在番茄的开花期前期到结果期采用缺素的配方进行灌溉, 缺素营养液的配方原则是在基本保证其它元素含量正常的情况下, 减少该元素含量或完全去掉该元素。对于大量元素 N、Mg, 采用完全去除和减少元素含量 40%~50%, 培育严重缺氮、缺镁和轻微缺氮、缺镁的样本, 对于微量元素 Fe, 采用完全去除, 培育出缺铁的样本。正常样本采用正常的营养液配方。从开始浇灌缺素配方时, 隔天活体拍摄叶片图像, 直至肉眼能够很清楚的识别出番茄缺素。

### 1.2 图像采集

本研究采用的图像处理系统计算机为 P III-800, 摄像头选用美国 Pulnix 公司生产的 CCD 摄像头, 型号为 TMC-7DSP, CCD 面阵 1/2, 像素尺寸 8.4  $\mu\text{m}$   $\times$  9.8  $\mu\text{m}$ , 像素个数为 768  $\times$  494, R、G、B 分路输入, 精度较高, 噪声小。图像采集卡采用加拿大 Matrox 公司的 Meteor II/MC4。自制活体采样光箱。叶片放在载物台, 摄像头垂直于载物台。焦距 0.5, 光圈 16。图像滤波处理采用窗口大小为 3  $\times$  3 的中值滤波法, 有效抑制图像中的噪音。

## 2 颜色和纹理特征提取

缺素番茄病症主要表现在叶片的颜色上。观察已出现明显症状的缺素中后期叶片颜色和纹理特征发现, 纹理特征具有颜色差、灰度和边缘梯度空间相关性及局部斑点。因此应用色调域平均百分率直方图和差分色调域

收稿日期: 2004-03-25 修订日期: 2005-06-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(30270774)资助

作者简介: 毛罕平(1961-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 镇江市江苏大学农业工程研究院, 212013. Email: maohp@ujs.edu.cn

百分率直方图提取缺素叶片的颜色和纹理特征; 应用灰度- 梯度共生矩阵提取缺素叶片灰度和边缘梯度大小的联合统计分布的纹理特征; 应用小波包分析法提取缺素叶片局部斑点表现的时频纹理特征。

2 1 色调域平均百分率直方图法提取颜色特征

植物缺素的症状主要表现为叶色变黄, 所以叶片的颜色特征是判别植物缺素与否的重要信息。文献[6]采用差分百分率直方图法提取 CIE1976 均匀色系统的 b 分量的某一范围的累计值, 作为颜色特征识别番茄缺素叶片, 本研究进一步分析发现, HSI 颜色系统的 H 分量能更清晰的反映缺素症状的颜色变化, 和人眼的视觉功能相近。本研究在文献[7]的基础上将 HSI 颜色系统的 H 分量的直方图等角度分隔为几个区域, 称之为色调域, 为了消除叶片大小和背景的影响, 把直方图中叶片本身部分变换为百分率直方图<sup>[6]</sup>称为色调域百分率直方图。分析缺素叶片病态区域和正常区域的色调值的变化范围发现, 番茄叶片的有效色调域范围是 35°~ 74°, 间隔取为 10°; 对每个区域求平均值, 以这一平均值代表该区域的颜色特征量 C<sub>01</sub>, C<sub>02</sub>, …, C<sub>04</sub>, 共有 4 个特征量。公式如下:

$$C_i = \frac{C_{0i}}{M \times N - t} \times 100\% \tag{1}$$

其中 C<sub>i</sub>——平均百分率直方图的各均值; C<sub>0i</sub>——各色调域的直方图均值; M, N ——图像的大小; t ——背景像素数。

正常中叶、正常新叶、缺素老叶、缺素新叶的 4 个色调域区间百分率直方图的均值如表 1 所示。

表 1 正常与缺素叶片色调域平均百分率直方图值

Table 1 Values of average percentage histogram about the hues of normal leaves and innutrient leaves

色调区间	35°~ 44°	45°~ 54°	55°~ 64°	65°~ 70°
正常中叶	0.0829	0.3375	8.6695	10.7580
正常新叶	0.1036	0.5160	9.7479	9.5397
缺素中叶	0.1899	0.7247	13.7000	5.2898
缺素新叶	0.1151	0.7057	14.8170	4.2862

2 2 纹理特征的提取

叶片缺氮、缺镁、缺铁的症状在叶面上的颜色分布的是不同, 即纹理不同, 如番茄叶片缺 N 表现整叶发黄, 缺铁表现为新叶除叶脉外发黄, 因此可分析缺素叶片的纹理特征用于判别作物缺乏哪种营养元素。

2 2 1 最大差分算子的色调域百分率直方图法提取纹理特征

对缺素叶片色调图像进行差分运算, 可得到差分色调 H 图像(即梯度图像), 统计差分图像中各灰度差分值出现的次数, 得到差分图像的直方图, 为了解决叶片大小和背景对纹理特征提取的影响, 将直方图变换百分率直方图<sup>[6]</sup>。差分算子选用不受纹理方向影响的最大差分算子。差分色调域的色调值变化较大的区间主要在 10°~ 10°, 30°~ 49° 之间。计算差分色调域百分率直方图的这两个区间的均值, 方法同颜色特征提取中的色调域平均百分率直方图法相似。这 2 个纹理特征参数可以区

分缺氮、缺镁、缺铁叶片, 用于缺素类型的识别。为节省篇幅, 表 2 仅列出了 3 片缺氮、缺镁中叶的基于最大差分算子的差分色调域百分率直方图的各均值。

表 2 基于最大差分算子的百分率直方图的均值

Table 1 A Average of percentage histogram based on maximum difference operator

差分色调域区间	1°~ 10°	30°~ 49°
缺氮中叶	9.5397	0.2174
	9.4303	0.2065
	9.5441	0.2081
缺镁中叶	9.0815	0.2490
	9.3379	0.3476
	9.1224	0.2702

2 2 2 灰度- 梯度共生矩阵法提取纹理特征

本文就各种空间域纹理分析方法对缺素叶片提取其纹理特征, 试验结果表明, 灰度- 梯度共生矩阵法<sup>[9]</sup>提取的纹理特征效果良好。有了灰度- 梯度共生矩阵 {H(x, y)}, 将 {H(x, y)} 做归一化处理, 使其各元素之和为 1, 可以提取有关的数字特征如小梯度优势、混合熵、惯性、能量、相关性、逆差矩等<sup>[9]</sup>。经过试验对比数字特征惯性和能量区分效果最明显, 而相关性、逆差矩等特征曲线有重叠或交叉, 因篇幅有限, 本文只给出惯性和能量的数字特征, 如图 1 所示(图 1、图 2 中的序号为各缺素样本的植株序号)。

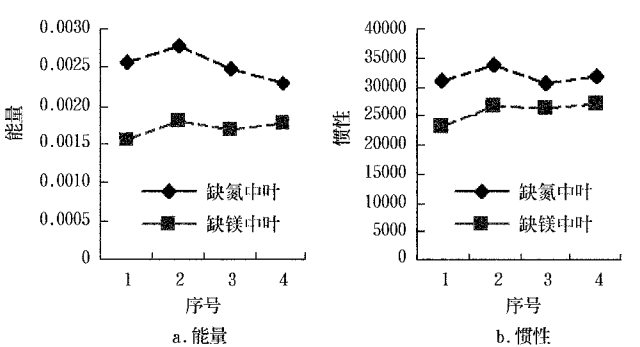


图 1 灰度- 梯度共生矩阵提取纹理特征

Fig 1 Textural features extracted by grads-gray co-occurrence

本文比较了灰度体如 RGB 颜色系统的 r 体、g 体、b 体 (r+ g+ b)/3, HSI 系统的 H 体等灰度体, g 体的识别效果较好, 梯度图像的差分算子选用不受纹理方向影响的最大差分算子<sup>[7]</sup>。比较灰度- 梯度共生矩阵大小为 256×256, 128×128, 64×64, 8×8 提取的数字特征量, 256×256 提取的特征量效果明显, 因为灰度级的压缩会造成部分高频信息的丢失。

2 2 3 小波变换提取纹理特征

小波变换有利于提取多分辨率、多方向性的纹理, 利用 Mallat 的多分辨率分析算法得到缺素番茄叶片图像的塔式分解, 提取各频道输出的数字特征, 文献[5]计算各频道的能量占图像总频道能量的比值作为特征识别缺钾和缺氮叶片。本文研究发现能量比值特征识别缺

氮、缺镁和缺铁效果较差。采用数字特征熵, 方差等作为特征效果较好。假设某一频道输出为  $x(i, j)$ ,  $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N, M \times N$  为频道尺寸, 上述特征定义为:

$$E = \frac{1}{M \times N - t_{i,j=1}^{M,N}} |x(i, j)|^2 \times \log |x(i, j)|^2 \quad (2)$$

$$V = \frac{1}{M \times N - t_{i,j=1}^{M,N}} |x(i, j) - \text{mean}|^2$$

式中  $E$  —— 单位面积熵;  $V$  —— 各分解子图的偏差;  $t$  —— 各分解子图的背景像素数;  $\text{mean}$  ——  $x(i, j)$  的均值, 即

$$\text{mean} = \frac{1}{M \times N - t_{i,j=1}^{M,N}} x(i, j)$$

比较 7 个频道子图像的上述 2 个数字特征量, 特征提取过程中去除背景和叶片大小的影响, 只提取叶片部分的单位面积熵和偏差, 结果表明一级分解的水平方向子图(LH)和二级分解的水平方向子图(LLLH)的单位面积熵和偏差, 能较好地地区分缺素类型(如图 2)。

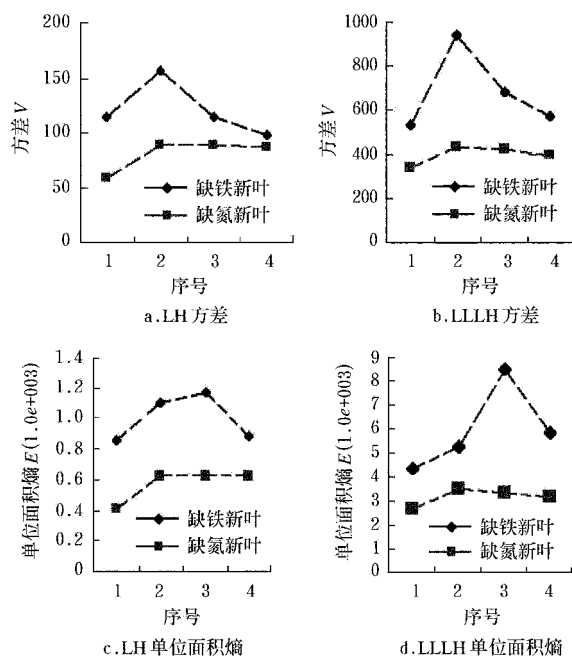


图 2 小波变换提取纹理特征

Fig 2 Textural features extracted by wavelet transform

### 3 神经网络识别结果与分析

缺素叶片的特征量是多峰线性不可分的, 而神经网络很适合于解决非线性问题, 因而本系统采用三层 BP 神经网络作为缺素识别系统, 根据叶片的部位的不同, 采用分级判断法, 建立两个分类器, 第一个分类器判别番茄是否缺素, 第二个分类器判别番茄缺哪种营养元素(如图 3)。

分别对上部新叶和下部中叶进行特征参数提取, 各特征向量进行归一化处理后作为神经网络的输入向量。两个分类器的训练次数都为 5000, 训练误差 0.01。

第一个分类器 BP 神经网络的输入向量为提取的色调域平均百分率直方图的 4 个均值, 目标输出为单输

出 1 或 0 (1 表示判断结果为正常叶片, 0 表示判断结果为缺素叶片), 隐含层节点数没有标准算法, 本研究比较了多个网络结构的训练和测试样本的准确率, 选择隐含节点数为 3, 有效的网络结构为 4-3-1。训练样本数为 120 (正常中叶、缺素中叶、正常新叶、缺铁新叶各 30 个), 测试样本数为 160 (正常中叶、缺素中叶、正常新叶、缺铁新叶各 40 个), 测试样本识别准确率如表 3 所示。

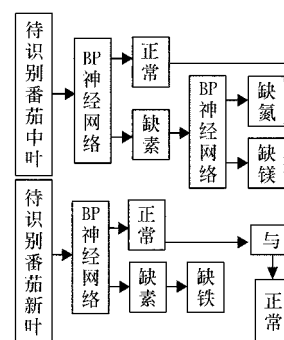


图 3 番茄缺素识别的结构图

Fig 3 Flow chart for recognition of tomato nutrient deficiency

第二个分类器 BP 神经网络识别缺素种类的参数有基于最大差分的色调域平均百分率直方图法的 2 个纹理特征、灰度-梯度共生矩阵法提取的 2 个统计特征、小波分解提取 4 个特征, 共 8 个特征向量, 由于神经网络要求训练的样本数量与输入特征项数呈指数关系增长, 所以 8 个特征项过多。分析 8 个纹理特征项之间的相关性, 选择基于最大差分的色调域平均百分率直方图提取的 2 个特征项, 灰度-梯度共生矩阵法提取的能量特征、一级小波分解水平方向子图的单位面积熵和方差共 5 组特征向量作为第二个 BP 神经网络的输入, 目标输出为单输出 1 或 0 (1 表示判断结果为缺氮中叶, 0 表示判断结果为缺镁中叶), 网络结构选 5-4-1。训练和测试样本数和第一个神经网络的样本数相同, 测试样本识别准确率如表 3 所示。

表 3 番茄缺素识别准确率

Table 3 Recognition rate of tomato nutrient deficiency

第一个分类器		第二个分类器		最终识别结果	
测试叶片	识别率	测试叶片	识别率	测试叶片	识别率
正常中叶	95	缺氮中叶	95	正常中叶	95
缺素中叶	92.5	缺镁中叶	95	正常新叶	92.5
正常新叶	92.5			缺铁新叶	92.5
缺铁新叶	92.5			缺氮中叶	87
				缺镁中叶	87

综合两个分类器的识别结果, 正常中叶、正常新叶、缺铁新叶、缺氮中叶、缺镁中叶的最终识别准确率依次为 95%、92.5%、92.5%、87%、87%。

### 4 结 论

1) 提出了采用不受植株叶片大小和背景影响的色

调域平均百分率直方图来提取番茄叶片的颜色特征,用于识别番茄是否缺乏营养元素。

2) 通过分析得出基于最大差分算子的色调域百分率直方图、灰度-梯度共生矩阵的惯性和能量、小波变换LH和LLLH的单位面积熵和偏差等特征能较好地地区分缺素类型。

3) 设计了番茄缺N、缺Fe、缺Mg的BP神经网络系统,采用该系统对正常中叶、正常新叶、缺铁新叶、缺氮中叶、缺镁中叶的识别准确率依次为95%、92.5%、92.5%、87%、87%。

#### [参 考 文 献]

- [1] 穗波信雄,等. 图像处理在植物生长信息提取中的应用[J]. 农业机械学会关西支部(日),平成4年(第72号): 63-46
- [2] Yutaka Sasakoi, Tsuguo Okamoto, et al. Automatic diagnosis of plant disease-recognition between healthy and

- diseased leaf[J]. 农业机械学会志, 1999, 61(2): 119-126
- [3] Yutaka Sasakoi, Tsuguo Okamoto, et al. Generating of Distinction Parameter for Automatic Diagnosis of Plant Disease by GP[J]. 农业机械学会志, 1999, 61(6): 78-80
- [4] 陈佳娟. 基于图像处理和人工智能的植物病害自动诊断技术的研究[D]. 吉林工业大学, 2001: 94-110
- [5] 毛罕平, 徐贵力, 李萍萍. 番茄缺素叶片的图像特征提取和优化选择研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 133-136
- [6] 徐贵力, 毛罕平, 李萍萍. 差分百分率直方图法提取缺素叶片纹理特征[J]. 农业机械学报, 2003, 34(2): 76-79
- [7] 毛罕平, 徐贵力, 李萍萍. 基于计算机视觉的番茄营养元素亏缺的识别[J]. 农业机械学报, 2003, 34(2): 73-75
- [8] 连兆惶. 无土栽培[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.
- [9] 王新成. 高级图像处理技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2000: 176-183
- [10] 冯 斌, 汪懋华. 基于颜色分形的水果计算机视觉分级技术[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 141-144

## Recognition of tomato nutrient deficiency using artificial neural network based on computer vision

Mao Hanping<sup>1</sup>, Wu Xuemei<sup>2</sup>, Li Pingping<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. School of Mechanical Engineering and Automation, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** The main objective of this project is to develop a recognition system for tomato nutrient deficiency based on artificial neural network to assist fertilization management during the growth of tomato. Digital images of tomato leaves, which were in deficiency of nitrogen, magnesium or Fe nutrition element, were collected from May to October in 2003 using the CCD camera. New color feature extraction methods based on average percentage Hue histogram were developed to distinguish ill leaves from normal leaves. The textural features of individual ill tomato leaves were extracted from different methods. Of the five textural features used in the discriminant analysis, two were computed from grads image, one (Inertia) was extracted from grads-gray co-occurrence, and the remaining two (Entropy, Variance) were computed from the wavelet decomposition. Using the above color and textural features as input vectors of the recognition system, the classification accuracies of the testing data set were 95%, 92.5%, 92.5%, 87%, and 87%, respectively, for normal old leaf, normal new leaf, deficiency of Fe, deficiency of nitrogen, and deficiency of magnesium.

**Key words:** computer vision; artificial neural network; nutrient deficiency; tomato