

# 基于叶片形状和纹理特征的植物种类识别系统

## 0 研究意义

植物的种类识别是植物学研究和农业生产的基础性工作，传统方法主要是根据植物的形态进行人工鉴定，识别结果存在主观性且效率较低。植物的叶片含有大量的种属信息，且大部分叶片外形为扁平状，因此可对植物叶片进行图像采集和处理，实现植物的快速识别。

植物种类图像识别系统综合了叶片形状特征和纹理特征，提取了叶片图像的几何特征、不变矩特征、结构特征、灰度共生矩阵和分形维数，构成特征数据库。通过特征数据库对BP神经网络进行训练，实现对植物的快速分类识别。

## 1 系统架构和算法

本系统依次由预处理模块、特征提取模块和分类识别模块三部分构成，系统架构见图1。系统输入为叶片彩色图像，预处理模块可获取叶片的二值图像、灰度图像和纹理图像，特征提取模块可提取得到叶片的形状特征和纹理特征的特征参数，并构成特征数据库。分类识别模块由BP（Back Propagation）神经网络构建，并通过特征数据库进行训练，实现对植物的分类识别。

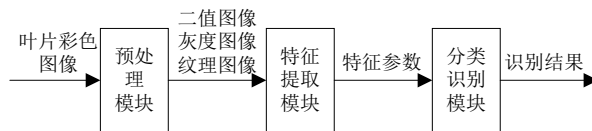


图1 系统架构

### 1.1 预处理模块

预处理模块可削弱图像中颜色、叶柄、虫洞等无用或干扰信息，使目标区域的特征更明显。预处理模块输入为叶片彩色图像，输出为用于特征提取的叶片灰度图像，二值图像和纹理图像，具体过程如图2。

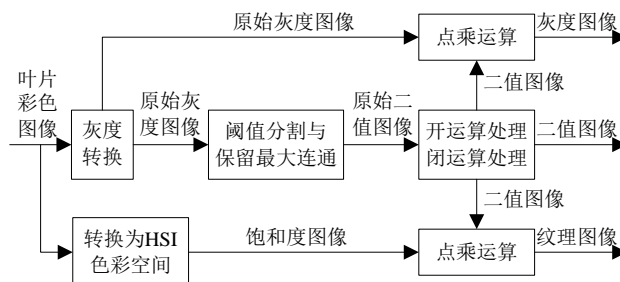


图2 叶片图像预处理流程

首先，将输入的叶片彩色图像经灰度转换得到原始灰度图像，对其进行阈值分割处理，把原始灰度图像分离为叶片和背景两部分，并通过保留最大连通成分操作，将叶片从背景

中提取出来，从而得到叶片的原始二值图像。采用形态学中的开运算和闭运算<sup>[9]</sup>处理后，系统最终输出不受叶片虫洞和叶柄影响的二值图像。

将二值图像矩阵和原始灰度图像矩阵进行点乘运算，可得到去除背景的叶片灰度图像。

在 HSI (Hue Saturation Intensity) 色彩空间模型中，可以使用 S 分量表示叶片的纹理，在提取纹理图像时，首先将输入叶片彩色图像转换为 HSI 色彩空间下的图像<sup>[7]</sup>，然后用饱和度图像（即 HSI 色彩空间模型中的 S 分量）与二值图像矩阵进行点乘计算，得到去除背景的叶片的纹理图像，该纹理图像用于叶片分形维度的计算。

在预处理模块将叶片彩色图像进行灰度转换的主要原因是大多数叶片的颜色在不同成长期或季节会发生变化，颜色对植物叶片识别的贡献不大。同时，灰度图像可有效减少运算量，本文采用了一种改进的灰度转化算法：

$$Y' = c_r' R + c_g' G + c_b' B \quad (1)$$

其中  $c_r'$ ， $c_g'$ ， $c_b'$  为叶片彩色图像中  $R$ ， $G$ ， $B$  三分量的加权值，计算如式(2)：

$$c_r' = \frac{\sum R}{mn}, c_g' = \frac{\sum G}{mn}, c_b' = \frac{\sum B}{mn} \quad (2)$$

式(2)中， $m$  与  $n$  分别表示图片的长度与高度。

由于  $c_r' + c_g' + c_b' \neq 1$ ，需要再对  $Y'$  进行归一化处理。令  $\min(Y')$  为图像矩阵  $Y'$  的最小值， $\max(Y')$  为图像矩阵  $Y'$  的最大值，

$$Y = \frac{Y' - \min(Y')}{\max(Y') - \min(Y')} \quad (3)$$

$Y$  为归一化后的原始灰度图像矩阵，此灰度转换方法对于对比度不强的图片有较好的效果。

## 1.2 特征提取模块

利用叶片图像的单一个体特征对植物进行分类识别的误差较大。特征提取模块可获取叶片形状特征中的几何特征、不变矩和结构特征参数，并可获取叶片纹理特征中的灰度共生矩阵和分形维数，这些特征参数用于植物叶片的分类识别。

### 1.2.1 形状特征

#### (1) 几何特征参数

本系统选用了叶片的纵横轴比、矩形度、球状性、圆形度、偏心率、周长直径比和周长长宽比 7 个无量纲的量描述植物叶片的几何特征，这些几何特征量受植物生长的影响较小，具体如下：

① 纵横轴比  $AD$ ：

$$AD = \frac{D_{\max}}{D_{\min}} \quad (4)$$

$D_{\max}$  是叶片最小包围盒的长， $D_{\min}$  是叶片最小包围盒的宽。其中最小包围盒为坐标系中平行于横轴和纵轴方向的能够包围图像的最小矩形。

② 矩形度  $RD$ ：

$$RD = \frac{A_i}{A_d} \quad (5)$$

$A_i$  是叶片图像各个区域中像素总个数， $A_d$  是叶片最小包围盒面积。

③球状性  $GL$ :

$$GL = \frac{4\pi A}{D_e^2} \quad (6)$$

$A$  是叶片的面积， $D_e$  为叶片的外接圆直径。

④圆形度  $RP$ :

$$RP = \frac{D_e}{R_i} \quad (7)$$

$R_i$  是叶片内切圆半径。

⑤偏心率  $EC$ :

$$EC = \frac{A_{\max}}{A_{\min}} \quad (8)$$

$A_{\max}$  和  $A_{\min}$  分别是叶片最佳匹配椭圆的长轴和短轴长度。最佳匹配椭圆为能够包围叶片的面积最小的椭圆。

⑥周长直径比  $PD$ :

$$PD = \frac{P_c}{D_e} \quad (9)$$

$P_c$  是叶片凸包周长。

⑦周长长宽比  $PL$ : 叶片凸包周长与其最小包围盒长和宽的和的比值;

$$PL = \frac{P_c}{D_{\max} + D_{\min}} \quad (10)$$

## (2)不变矩参数

描述形状特征时，要克服尺度、旋转和平移变换性这些问题。

Hu 提出了不变矩理论，建立了一种可以用于图像识别的统计特征提取方法。不变矩具有旋转、平移和尺度不变性的特性。选择不不变矩作为特征描述符，可以体现植物叶片图像稳定的形状特征，根据该特征可对叶片进行分类。本系统采用针对离散对象的不变矩算法，获取了叶片图像的 7 项不变矩参数  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7$ 。

## (3)结构特征参数

本系统采用锯齿度  $ST$  反映叶片的结构特征:

$$ST = \frac{N_s}{P} \quad (11)$$

其中  $N_s$  是锯齿个数， $P$  是叶片周长。 $N_s$  通过求取像素点在坐标系中的导数来获取<sup>[11]</sup>。

### 1.2.2 纹理特征

叶片的纹理特征是一种全局特征，对叶片图像整体分析时表现出一定的规则性，本系统采用灰度共生矩阵和分形维数来描述叶片的纹理特征。

#### (1)灰度共生矩阵

灰度共生矩阵反映了图像中任意两点灰度的空间相关性，可用灰度共生矩阵的部分统

计量来反映叶片图像的纹理特征，本系统用到如下统计量<sup>[12]</sup>，其中 $Y(i, j)$ 为灰度图像中点 $(i, j)$ 的灰度值。:

① 对比度 $N_1$ : 反映纹理的清晰程度

$$N_1 = \sum_i \sum_j (i-j)^2 Y(i, j) \quad (12)$$

②相关性 $N_2$ : 反映叶片图像邻域灰度的线性依赖

$$N_2 = \frac{\sum_i \sum_j (i-\bar{i})(i-\bar{j})Y(i, j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (13)$$

式(13)中:

$$\bar{i} = \sum_i i \sum_j Y(i, j)$$

$$\bar{j} = \sum_j j \sum_i Y(i, j)$$

$$\sigma_i^2 = \sum_i (1-i)^2 \sum_j Y(i, j)$$

$$\sigma_j^2 = \sum_j (1-j)^2 \sum_i Y(i, j)$$

③能量 $N_3$ : 反映叶片图像灰度分布的均匀性

$$N_3 = \sum_i \sum_j Y(i, j)^2 \quad (14)$$

④均匀度 $N_4$ : 反映叶片图像纹理的局部同质性

$$N_4 = \sum_i \sum_j \frac{1}{1+(i-j)^2} Y(i, j) \quad (15)$$

## (2)分形维度

叶片的叶脉图像包含丰富的纹理信息，该纹理一般由成层级式的叶脉构成。植物叶片的各层级脉络将叶片分割成具有一定自相似性的网状结构，可用分形维度 $D_f$ 更细致描述叶片纹理特征。

本系统将图 2 中获取的叶片纹理图像看作点集 $Z \in R^3$ ，每个元素 $z \in Z$ 被定义为三维坐标值 $(i, j, Y(i, j))$ ，分形维度 $D_f$ 的计算采用了“毯子法”。

### 1.3 分类识别模块

分类识别模块的构成如图 3，核心为基于 BP 神经网络的分类器。BP 神经网络分类器包括输入层、隐层和输出层。输入层神经元个数由叶片特征值的个数决定，输出层神经元个数为叶片种类数量。在实验时要人工设定 BP 神经网络的隐层个数、隐层神经元数量和学习率等参数。

特征数据库中的叶片样本特征矩阵 $T$ 与样本编号矩阵 $U$ 组合成矩阵 $[T, U]$ ，对 BP 神经网络分类器进行训练。

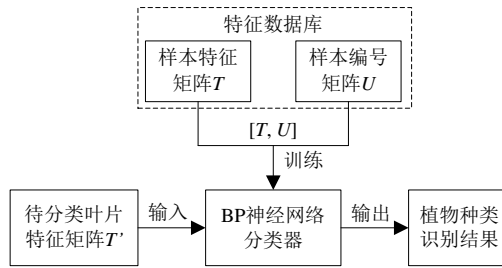


图3 分类识别模块

待识别的叶片图像进行预处理、特征提取等步骤后可得到待分类特征矩阵  $T'$ ，将  $T'$  输入训练好的 BP 神经网络分类器可得到植物种类识别结果。

### 3 实验

本系统的硬件由服务器端和手机端构成（如下图 4）。服务器端软件采用 Visual Studio 2010 与 Eclipse 开发，通过调用 MATLAB 程序实现识别算法，识别结果可发送至手机端显示。手机端软件基于 Android 平台开发，可对待识别叶片进行拍照并输出识别结果。



图4 实验系统

实验中采集了杜英、夹竹桃等 30 种植物共计 2107 张不同叶片的图像分别用于特征提取，神经网络训练和验证识别算法。

#### 2.1 特征提取与神经网络训练

首先使用每种叶片数量的 80%，由特征提取模块获取各个叶片的特征参数，构建特征数据库，附表 1 给出了从 30 种叶片单个图像中提取出的共计 20 种特征参数值。

通过叶片特征数据库对分类识别模块的神经网络进行训练，神经网络的参数设置如表 1，当学习误差逐渐收敛到目标误差后完成训练。

表 1 BP 神经网络参数

项目	参数
隐层数量	1
隐层神经元数量	60
学习率	0.01

动量因子	0.9
最大训练步数	10000
目标误差	0.003

## 2.2 实验结果

使用剩余 20%数量的叶片测试本系统的识别正确率，实验结果如表 2:

表 2 识别结果

叶片名称	训练样本 数量	测试样本 数量	识别错误 样本数量	识别准确 率
杜英	51	13	0	100.00%
夹竹桃	54	14	0	100.00%
桑科柘树	48	12	2	83.33%
蛇莓	50	13	0	100.00%
夏枯草	36	9	4	55.56%
迎春	77	20	0	100.00%
牵牛	76	20	0	100.00%
垂柳	36	9	3	66.67%
圆叶牵牛	68	17	0	100.00%
大狼把草	168	42	2	95.24%
打碗花	47	12	0	100.00%
虎耳草	31	8	0	100.00%
凤仙花	32	9	0	100.00%
杠板归	94	24	0	100.00%
三角枫	44	12	2	83.33%
婴粟	42	11	0	100.00%
红花酢浆草	64	16	0	100.00%
五角枫	36	10	0	100.00%
鸡爪槭	43	11	1	90.91%
银杏	41	11	1	90.91%
羽毛枫	32	9	2	77.78%
梾子	48	12	0	100.00%
连香树	36	10	0	100.00%
枇杷	35	9	0	100.00%
一年蓬	40	10	2	80.00%
野大豆	109	28	0	100.00%
构树	29	8	0	100.00%
美国凌霄	147	37	2	94.59%
法国梧桐	31	8	1	87.50%
鹅掌楸	30	8	1	87.50%
总计	1675	432	23	94.68%

实验结果表明，在 30 种植物叶片中，本系统的平均正确识别率达到了 94.68%，其中

---

18种植物的识别正确率达到了100%。相对于前期研究，本系统的可识别的植物种类数量和正确率都有了一定提高。

附表 1 特征参数

Appendix Table 1 Feature parameters

名称	$D_F$	$AD$	$RD$	$GL$	$RP$	$EC$	$PD$	$PL$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$\phi_4$	$\phi_5$	$\phi_6$	$\phi_7$	$ST$
杜英	2.42	3.72	0.67	2.27	7.51	3.51	0.00	1.67	0.10	0.60	0.89	0.98	0.93	1.76	1.11	0.93	1.95	1.78	0.53	1.00
夹竹桃	2.56	6.61	0.71	1.35	13.37	6.42	0.00	1.78	0.07	0.37	0.94	0.99	0.99	1.94	1.15	1.13	2.26	2.09	0.43	0.81
桑科柘树	2.48	1.35	0.57	5.31	3.10	1.28	0.01	1.47	0.07	0.60	0.88	0.98	0.37	-0.50	-0.39	-1.61	-2.80	-2.78	-2.74	0.93
蛇莓	2.51	1.22	0.57	5.78	4.70	1.27	0.02	1.54	0.03	0.69	0.96	0.99	0.49	-0.42	1.05	-1.45	-2.15	-1.66	-1.66	0.66
夏枯草	2.49	2.35	0.55	2.96	4.82	2.13	0.01	1.56	0.04	0.77	0.92	0.99	0.49	0.65	-1.80	-0.96	-2.35	-0.64	-3.01	0.83
迎春	2.50	1.07	0.55	5.37	6.05	1.11	0.01	1.62	0.06	0.62	0.92	0.99	0.51	-0.84	0.95	0.06	0.56	-1.21	-0.42	0.98
牵牛	2.49	1.27	0.54	5.31	5.30	1.18	0.01	1.56	0.05	0.68	0.93	0.99	0.56	-0.33	0.55	-1.15	-1.47	-1.32	-2.02	1.21
垂柳	2.41	1.04	0.58	6.97	3.32	1.16	0.01	1.54	0.04	0.44	0.96	0.99	0.56	-0.73	0.43	-2.03	-3.51	-2.40	-2.85	0.86
圆叶牵牛	2.48	1.23	0.61	5.83	3.46	1.07	0.01	1.56	0.03	0.70	0.96	0.99	0.55	-1.47	0.89	-1.27	-1.97	-2.11	-1.49	0.81
大狼把草	2.44	3.90	0.68	2.18	8.07	3.89	0.01	1.70	0.06	0.37	0.96	0.99	0.93	1.77	1.91	1.90	3.80	2.78	1.83	0.71
打碗花	2.30	1.19	0.36	3.62	6.32	1.48	0.01	1.53	0.04	0.46	0.98	0.99	0.94	1.15	2.74	1.20	3.11	1.77	2.88	1.01
虎耳草	2.57	1.60	0.45	3.47	4.01	1.16	0.01	1.55	0.06	0.68	0.91	0.99	0.53	-0.11	1.02	0.81	1.72	0.75	0.93	0.92
凤仙花	2.38	3.39	0.70	2.58	6.87	3.48	0.00	1.73	0.05	0.43	0.96	0.99	0.99	1.87	2.13	1.91	3.92	2.83	2.87	0.83
杠板归	2.33	1.10	0.50	5.47	3.68	1.04	0.01	1.59	0.03	0.60	0.97	0.99	0.57	-1.05	1.57	-0.29	0.35	-0.86	-0.74	0.72
三角枫	2.36	1.05	0.51	6.06	3.21	1.04	0.01	1.50	0.03	0.44	0.97	0.99	0.73	-0.52	0.68	-0.40	-0.51	-0.98	-0.33	0.99
婴蓼	2.41	1.17	0.48	4.69	7.10	1.12	0.01	1.60	0.04	0.48	0.97	0.99	0.74	-0.75	1.53	0.27	1.15	-0.15	0.67	1.31
红花酢浆草	2.53	1.00	0.69	8.06	2.91	1.02	0.03	1.57	0.04	0.71	0.91	0.99	0.28	-1.84	-1.27	-2.34	-4.14	-3.44	-5.16	0.40
五角枫	2.36	1.25	0.49	4.09	7.04	1.38	0.01	1.71	0.03	0.50	0.97	0.99	0.81	0.36	1.36	-0.25	-0.02	-0.12	0.25	1.27
鸡爪槭	2.41	1.03	0.41	4.29	8.83	1.13	0.01	1.58	0.06	0.51	0.96	0.99	0.74	-1.28	0.89	0.79	1.52	0.12	1.41	1.06
银杏	2.33	1.32	0.54	5.14	3.60	1.44	0.01	1.49	0.04	0.71	0.94	0.99	0.54	0.08	0.30	0.43	0.44	0.30	0.75	0.63
羽毛枫	2.75	1.31	0.38	3.52	12.29	1.41	0.01	1.62	0.08	0.43	0.95	0.99	0.90	0.89	1.17	0.29	0.60	0.56	0.99	1.75



---

梔子	2.85	2.18	0.64	3.67	4.40	1.99	0.01	1.56	0.08	0.73	0.79	0.98	0.38	0.42	-0.83	-1.00	-2.00	-0.82	-2.16	1.20
连香树	2.56	1.18	0.69	7.14	2.85	1.15	0.01	1.56	0.04	0.61	0.93	0.99	0.38	-1.39	0.28	-0.89	-1.43	-1.61	-1.29	0.89
枇杷	2.72	4.14	0.61	1.85	8.45	3.85	0.00	1.71	0.12	0.76	0.65	0.97	0.38	0.64	-0.17	-0.37	-0.64	-0.08	-2.27	1.76
一年蓬	2.62	1.41	0.67	5.95	3.05	1.37	0.01	1.53	0.05	0.60	0.92	0.99	0.41	-0.21	-0.61	-1.94	-3.69	-2.47	-3.24	0.66
野大豆	2.80	2.20	0.70	4.01	4.45	2.19	0.01	1.58	0.07	0.80	0.79	0.98	0.26	0.22	-1.35	-2.86	-5.09	-2.87	-5.16	0.52
构树	2.43	1.27	0.54	5.08	5.88	1.28	0.01	1.57	0.09	0.35	0.94	0.98	0.90	0.80	1.71	1.20	2.47	0.71	2.55	0.97
美国凌霄	2.57	1.86	0.59	3.81	4.25	1.81	0.01	1.57	0.07	0.44	0.93	0.99	0.50	0.47	-0.85	-0.71	-2.06	-0.48	-1.50	0.66
法国梧桐	2.42	1.16	0.57	5.08	4.69	1.42	0.01	1.69	0.06	0.61	0.90	0.99	0.49	-0.01	0.49	-1.42	-1.91	-2.19	-2.38	1.20
鹅掌楸	2.46	1.06	0.61	6.89	4.65	1.09	0.01	1.55	0.05	0.60	0.94	0.99	0.51	-0.90	0.15	-0.25	-0.43	-0.76	-0.47	0.96

---