



























弱,此时描述子只能描述出叶片的全局特征.随着尺度个数  $K$  的增加,描述的粒度越来越小,捕捉叶片图像的细节特征的能力越来越强,直到  $K$  为 7 时,MAP 达到最高:79.9%,而当  $K$  再取更大的值时,MAP 值并没有继续增长,其原因是,当圆的半径足够小时,圆内所包含的叶片像素点只有圆心甚至一个像素点也没有,此时的尺度级已不具有描述能力,因此我们以为取 7 个尺度级就能很好地完成叶片图像检索任务.

**Table 1** The comparisons of the MAP value of the proposed circular features description method with the other methods on Flavia data set

表 1 在 Flavia 数据集上的本文提出的圆周特征描述法与其他方法的 MAP 值的对比

算法	MAP 值(%)
TAR <sup>[10]</sup>	52.8
MAM-RM <sup>[13]</sup>	59.1
IDSC <sup>[5]</sup>	59.9
TSLA <sup>[10]</sup>	69.9
MARCH <sup>[14]</sup>	73.0
圆周特征描述法	79.9

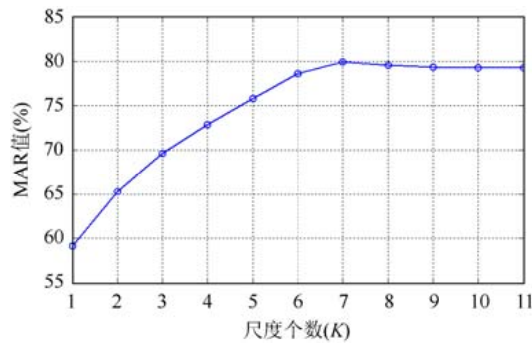


Fig. 13 The MAP scores of the proposed methods of taking various number of scale levels  $K$  on the Flavia dataset

图 13 在 Flavia 数据集上,本文提出的方法在尺度个数  $K$  取不同值情况下相应的 MAP 值

本文提出的圆周特征描述法包括 3 类特征:圆心角特征、圆周积分特征和圆周灰度统计特征,为研究它们在叶片图像检索中的贡献,我们做了另外 4 组实验:(1) 仅使用圆心角特征  $\alpha$ ;(2) 仅使用圆周积分特征  $\beta+\gamma$ ;(3) 仅使用圆周灰度统计特征  $\mu+\delta$ ;(4) 所有特征组合  $\alpha+\beta+\gamma+\mu+\delta$ .表 2 中给出了该组实验的结果.

**Table 2** The MAP scores of using various kinds of circular features on the Flavia dataset

表 2 在 Flavia 数据集上,使用各类圆周特征描述的 MAP 值

圆周特征类别	MAP 值(%)
圆心角特征 $\alpha$	71.91
圆周积分特征 $\beta+\gamma$	60.37
圆周灰度统计特征 $\mu+\delta$	44.97
所有的圆周特征 $\alpha+\beta+\gamma+\mu+\delta$	79.94

从表 2 可以看出,本文提出的圆周特征描述在单独使用某一类特征的情况下,圆心角特征的 MAP 值最高,达到了 71.91%,检索效果最好,其次是圆周积分特征,MAP 值为 60.37%,单独使用圆周灰度统计特征时,MAP 为 44.97%,而组合所有的圆周特征,MAP 达到 79.94%.该组实验说明,叶片图像的轮廓线特征在识别中起到的作用最大,区域特征次之,灰度特征再次,这一结果也与叶片的实际识别依据相一致.但这 3 种特征组合使用可以弥补它们单个使用的不足,如形状非常相似的叶片,再加入它们的灰度特征,将会明显地提高识别效果.

#### 4.2 叶片图像分类实验

为进行叶片图像分类性能的评估,我们选用了著名的 Swedish<sup>[2]</sup>测试集.该测试集中样本来自瑞典,其中有

15 种类,每类有 75 个样本,总共 1 125 幅图像.图 14 对其中的每一类给出了一个样本,它们包括挪威枫、榆树、夏栎、灰桤木、椴树、爆竹柳等.



Fig.14 15 species from the Swedish leaf dataset<sup>[2]</sup>

图 14 Swedish 数据集中的 15 类叶片样本图像示例<sup>[2]</sup>

现有算法<sup>[5,6,10,13-15,19]</sup>在该测试集上的分类性能评估方法是:将 Swedish<sup>[20]</sup>数据集每类 75 个样本图像随机分为 25 个训练样本和 50 个测试样本,因此总共有  $25 \times 15 = 375$  个训练样本构成训练集,  $50 \times 15 = 750$  个测试样本构成测试集,计算测试集中每个图像和训练集中的每个样本的相似度,并用最邻近分类器(1-NN)进行分类,即得到的与待测叶片样本最相似的叶片图像若与待测样本属于同一类,则认为是一次正确的分类,统计所有测试的正确率记为分类率.在实验中,我们采用与该方法相同的分类性能评估方法.由于测试集和训练集是随机划分的,与现有的算法<sup>[5,6,10,13-15,19]</sup>一样,我们将实验重复执行 10 次,取其平均值.本文提出的圆周特征算法的有关参数与在 Flavia 测试集上的参数相同.为进一步评估本文提出的圆周特征描述方法的分类性能,我们还将基于监督学习的分类器引入该分类实验,将训练集中的样本的圆周特征描述子作为支持向量机(SVM)的输入,用得到的分类器对测试集中的样本进行分类,统计分类率.在实验中,我们所用的 SVM 程序为文献[27]的作者提供的源代码 LIBSVM.

在表 3 中,我们给出了本文提出的圆周特征描述法在 Swedish 测试集上,分别采用 1-NN 分类器和 SVM 分类器的分类率.为与其他方法进行对比,表 3 也列出了近年来在该测试集报告了较好结果的其他 8 种算法,这些方法大都报告了采用 1-NN 分类器的分类率,文献[19]中所提方法则报告了采用 SVM 分类器的分类率.从该表可以看出,本文提出的方法在 Swedish 测试集上采用 1-NN 分类器,取得了 98.84% 的分类率,已高于其他参与比较的各种方法,值得指出的是,我们查阅了现有的在该测试集上公开报道的分类率,本文提出的算法所报告的结果是目前所见到的最好结果.而采用基于监督学习的分类器 SVM,本文所提方法的分类率又比 98.84% 的分类率进一步提高了 0.18%,达到了 99.02%.该实验结果表明,本文提出的叶片图像描述方法在叶片图像的分类性能方面优于现有其他方法,证明了本文提出的方法的有效性以及相较于其他方法的优越性.

**Table 3** Comparison of classification rate of circular features description method proposed in this paper and other methods on Swedish dataset

**表 3** Swedish 数据集上本文提出的圆周特征描述法和其他方法的对比

描述子	分类器	分类率(%)
TAR <sup>[10]</sup>	1-NN	90.40
MDM-ID-CD-M <sup>[13]</sup>	1-NN	93.60
IDSC <sup>[5]</sup>	1-NN	94.13
TSLA <sup>[10]</sup>	1-NN	96.53
HATISL&RS <sup>[19]</sup>	SVM	96.53
Pattern Counting <sup>[6]</sup>	1-NN	97.10
MARCH <sup>[14]</sup>	1-NN	97.33
GMM+soft clustering+Tsl <sup>[15]</sup>	1-NN	98.33
圆周特征描述法	1-NN	98.84
圆周特征描述法	SVM	99.02

## 5 结 论

本文提出了描述叶片图像的圆周特征描述方法.该方法通过圆心位于轮廓线的圆,从叶片图像提取了叶片图像的轮廓线特征——圆心角、形状区域特征——圆周长分特征、灰度特征——圆周灰度统计特征,从而比其他方法更为全面地描述了叶片图像,且抽取的特征具有内在的平移、旋转、缩放的不变性.本文所提出的多尺度的描述框架,使得描述子能由粗到细地描述叶片特征.这种对叶片的形状和灰度特征的全面描述和多尺度的安排,使

得本文提出的方法具有非常强的叶片识别能力.在著名的 Flavia 叶片图像测试集上的检索实验和 Swedish 叶片图像测试集上的分类实验,都获得了比其他现有的叶片图像描述方法更高的精确率,证明了本文提出的算法的有效性.

#### References:

- [1] Wu SG, Bao FS, Xu EY, *et al.* A leaf recognition algorithm for plant classification using probabilistic neural network. In: Proc. of the IEEE Int'l Symp. on Signal Processing and Information Technology. 2007. 11–16.
- [2] Soderkvist O. Computer vision classification of leaves from Swedish trees [MS. Thesis]. Linkoping: Linkoping University, 2001. 181–186.
- [3] Cope JS, Corney D, Clark JY, *et al.* Plant species identification using digital morphometrics: A review. *Expert Systems with Applications*, 2012,39(8):7562–7573.
- [4] Belongie S, Malik J, Puzicha J. Shape matching and object recognition using shape contexts. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002,24(4):509–522.
- [5] Ling HB, Jacobs DW. Shape classification using the inner-distance. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2007,29(2):286–299.
- [6] Zhao C, Chan SSF, Cham WK, *et al.* Plant identification using leaf shapes—A pattern counting approach. *Pattern Recognition*, 2015,48:3203–3215.
- [7] Wright J, Ma Y, Mairal J, Sapiro G, Huang TS, Yan S. Sparse representation for computer vision and pattern recognition. *IEEE Proc.*, 2010,98:1031–1044.
- [8] Mokhtarian F, Mackworth AK. A theory of multiscale, curvature-based shape representation for planar curves. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1992,14(8):789–805.
- [9] Alajlan N, El Rube, Kamel MS, *et al.* Shape retrieval using triangle-area representation and dynamic space warping. *Pattern Recognition*, 2007,40(7):1912–1920.
- [10] Mouine S, Yahiaoui I, Verroust-Blondet A. A shape-based approach for leaf classification using multiscale triangular representation. In: Proc. of the 3rd ACM Int'l Conf. on Multimedia Retrieval. 2013. 127–134.
- [11] Manay S, Cremers D, Hong BW, *et al.* Integral invariants for shape matching. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006,28(10):1602–1618.
- [12] Kumar N, Bellhumeur PN, Biswas A, *et al.* Leafsnap: A Computer Vision System for Automatic Plant Species Identification. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. 502–516.
- [13] Hu R, Jia W, Ling H, *et al.* Multiscale distance matrix for fast plant leaf recognition. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2012, 21(11):4667–4672.
- [14] Wang B, Brown D, Gao Y, *et al.* MARCH: Multiscale-arch-height description for mobile retrieval of leaf images. *Information Sciences*, 2015,302:132–148.
- [15] Liu M, Vemuri BC, Amari SI, Nielsen F. Shape retrieval using hierarchical total Bregman soft clustering. *IEEE Trans. on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 2012,34(12):2407–2419.
- [16] Du JX, Wang XF, Zhang GJ. Leaf shape based plant species recognition. *Applied Mathematics and Computation*, 2007,185(2): 883–893.
- [17] Hu M. Visual pattern recognition by moment invariants. *IRE Trans. on Information Theory*, 1962,8(2):179–187.
- [18] Wang XF, Huang DS, Du JX, *et al.* Classification of plant leaf images with complicated background. *Applied Mathematics and Computation*, 2008,205(2):916–926.
- [19] Horaisova K, Kukal J. Leaf classification from binary image via artificial intelligence. *Biosystems Engineering*, 2016,142:83–100.
- [20] Chaki J, Parekh R, Bhattacharya S. Plant leaf recognition using texture and shape features with neural classifiers. *Pattern Recognition Letters*, 2015,58(1):61–68.
- [21] Wu D, Yang H, Chen X, *et al.* Application of image texture for the sorting of tea categories using multi-spectral imaging technique and support vector machine. *Journal of Food Engineering*, 2008,88(4):474–483.
- [22] Casanova D, de Mesquita Sa Junior JJ, Bruno OM. Plant leaf identification using Gabor wavelets. *Int'l Journal of Imaging Systems and Technology*, 2009,19(3):236–243.

- [23] Tang Z, Su Y, Er MJ, *et al.* A local binary pattern based texture descriptors for classification of tea leaves. *Neurocomputing*, 2015, 168:1011–1023.
- [24] Chen LX. Circular characteristics description: A method of plant leaf image recognition [MS. Thesis]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [25] Aakif A, Khan MF. Automatic classification of plants based on their leaves. *Biosystems Engineering*, 2015,139:66–75.
- [26] Kalyoncu C, Toygar O. Geometric leaf classification. *Computer Vision and Image Understanding*, 2015,133:102–109.
- [27] Chang CC, Lin CJ. LIBSVM: A library for support vector machines. *ACM Trans. on Intelligent Systems and Technology*, 2011,2: 1–27.

附中文参考文献:

- [24] 陈良宵.圆周特征描述:一种植物叶片图像识别方法[硕士学位论文].南京:南京财经大学,2016.



王斌(1969—),男,湖北汉川人,博士,教授,CCF 高级会员,主要研究领域为计算机视觉,图像处理.



陈良宵(1992—),女,硕士,主要研究领域为计算机视觉,图像处理.



黄竹芹(1991—),女,硕士,主要研究领域为计算机视觉,图像处理.