植物学通报 2005, **22** (5): 599~604
Chinese Bulletin of Botany

技术与方法

植物叶形的计算机识别系统

[1]朱 静 [1]田兴军① [1]陈 彬 [2]吕劲紫

[1](南京大学生物系 南京 210093) [2](南京大学教务处 南京 210093)

摘要 植物叶形是识别植物的重要和常用形态特征, 建立计算机自动识别系统对于认识和正确识别植物十分重要。本文论述了植物叶形图像识别系统设计中的图像处理、特征提取及分类识别等问题。本系统采用Visual Basic.Net编程工具设计, 在Windows 2000/XP平台上通过叶片图像的输入、变换、平滑和分割等识别过程,实现了叶片图像的形状和叶缘特征的结果输出。实验结果表明, 该系统能够很好地识别植物的叶形, 对14种植物337份叶片样本的叶形测试准确率达93.2%。为植物识别的进一步研究奠定了基础。

关键词 植物叶形, 图像处理, 特征提取, 图像识别, 叶形分类

Computer Recognition System of Plant Leaf-shape

[1]ZHU Jing [1]TIAN Xing-Jun① [1]CHEN Bin [2]LÜ Jin-Zi

[1](*Department of Biology, Nanjing University*, Nanjing 210093)
[2](*Department of Biology, Nanjing University*, Nanjing 210093)

Abstract Leaf-shape is a significant feature for plant recognition. Establishing computer recognition system is an essential topic for identifying plants. Image processing, feature abstraction and classification of plant leaf shape with computer recognition system were discussed in this paper. The system has been developed with Microsoft Visual Basic.Net under Windows 2000/XP system. It can accomplish leaf image input, transform, smoothness, segmentation and finding leaf margin, etc. The performance of the system to recognize leaf shape has been demonstrated with 93.8% precision rate through testing 337 samples which belong to 14 species of plants. This work is very essential for further studies.

Key words Leaf shape, Image processing, Feature abstraction, Image recognition, Leaf-shape classification

图像识别是20世纪60年代美英等西方国家提出来的, 设想建立自动识别实验室让导弹能够通过图像识别来自动寻找飞机、舰船和坦克等目标(胡红俊等, 2001)。20世纪80年代以后, 图像识别在许多领域得到了广泛的应用, 取得了一些可喜的成果, 例如, 人脸识别(张翠平和苏光大, 2000)、掌纹识别(黎明等, 2000)以及指纹识别(胡红俊等, 2001)等。近年来,图像识别以其客观性、智能性在生物学领域得到广泛发展, 如肝脏B超图像的纹理识别

①通讯作者。Author for correspondence. E-mail: tianxj@nju.edu.cn
收稿日期: 2004-09-20 接受日期: 2005-04-15 责任编辑: 于昕

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t24-151

(吴泽晖和汪柄权, 1999), 肿瘤细胞显微图像的处理与识别(王昕, 1996)等的研究, 都已经取得了很好的成果。随着计算机技术发展, 计算机视觉技术逐渐渗入到生物学的其他领域, 如花粉识别(赵先贵等, 1999), 果形识别(赵静和何东健, 2001), 基于人工神经网络的叶脉信息提取(傅弘等, 2004)等等。

植物的叶形是传统识别植物的重要和常用形态特征(Mario, 2004)。植物的叶部形态是多样的, 每一种植物都有其相对稳定的特征, 这些就是认识和识别植物的基础和出发点(Tracy, 2000)。植物的各种器官都有分类价值, 相对而言繁殖器官的特征更能反映植物之间的差异和进化关系, 但这些器官往往在整个植物生活周期中所占时间短、比例小且多数要在解剖镜下才能看见, 常常不作为植物快速识别的主要依据。和繁殖器官比较, 叶片具有诸多优点, 常作为识别特征和人们认识植物的主要参照器官。植物叶形是一个二维的平面系统, 相对而言, 更容易进行图像的处理和加工。但植物叶片更容易受到环境影响, 也更容易对环境变化产生响应。研究物种的形态变异和分化具有许多提示意义, 叶形是一个非常好的指标(Lynn and Waldren, 2001), 因此, 建立计算机叶形自动识别系统对于认识和正确识别植物十分重要, 同时对研究植物对环境的响应, 植物弹性机制等都具有现实意义。

本文旨在通过叶形计算机自动识别系统建设的说明和应用, 来展示植物叶形识别的初步工作, 为今后植物的完全自动化识别打下基础。

1 原理与方法

1.1 系统原理和结构概述

植物叶形特征的计算机识别是应用模式识别和图形处理的理论与技术, 对扫描得到的叶片图像进行计算与分析, 用关系结构匹配的方法进行识别, 以达到分类和识别的目的。

植物叶形的识别是植物分类学的一个部分。目前,植物叶形的分类主要是依靠鉴定者的经验进行人为的判断。这种传统的判别方法要求操作者具有丰富的分类学知识和长期的实践经验,才能开展工作。由于植物种类非常丰富,叶片形态看似接近, 实则千差万别,加之目前还没有一个便于操作的叶形检索系统,因此叶形的识别工作一直存在很大的困难。随着计算机在各学科中的广泛应用, 探讨用计算机快速而准确地识别植物叶形,无疑是解决这一问题的一个切实可行的新途径。本文介绍的植物叶形的计算机识别系统系采用微软公司Visual Basic.net 编程工具在Windows 2000/XP 平台上创建完成。系统由样本输入、图像处理、特征提取、分类设计及结果输出等功能模块构成(图 1)。

1.2 图像采集

本实验采用的叶片样本来自野外采集的植物叶片及标本馆库存植物标本。对采集得到的叶片, 用扫描仪进行扫描, 得到数字化的彩色图片; 标本馆的库存植物, 采用数码相机拍摄的方法得到数字化图片。本实验的标本均取自南京大学和江苏植物研究所植物标本室。

1.3 图像处理

由于植物标本的颜色多样, 特别是标本室内的标本多数已经失去了原来的色泽, 为了去除颜色的干扰, 首先我们对图像进行二值化处理。通过叶片和背景的色泽反差, 先将标本图像转化成灰度图像, 然后利用灰度图像直方图阈值差异实现图像的二值化。

通过阈值化运算是否可以有效地进行图



图 1 系统框图

Fig. 1 Block structure diagram of the recognizing system

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t24-151

像分割, 取决于物体和背景之间是否有足够的对比度。设一幅灰度图像I[i, j]中物体的灰度分布在区间[T_1, T_2]内, 经过阈值运算后的图像为二值图像B[i, j], 即

$$B[i,j]=\begin{cases}1 & \text{如果} T_1 \leqslant I[i,j] \leqslant T_2\\ 0 & \text{其他}\end{cases}$$

B[i, j]=1的部分表示图像, B[i, j]=0的部分表示背景(Gonzalez and Woods, 2003)。

就植物的计算机识别系统而言, 需要确定一个阈值T以区分叶片和背景。I[i, j]≥T时, B[i, j]=1; I[i, j]<T时, B[i, j]=0。本识别系统图像的阈值是在多次实验的基础上确定算法, 操作时由计算机自动计算获得的。

在二值化后, 先对叶面内部的一些细小空洞进行填补, 然后去除噪音。由于叶片周围会有小杂物形成噪音, 所以用高通滤波(李兰友等, 2002)进行大幅度滤波, 去掉噪音。高通滤波是对图像的低频分量进行拟制从而让图像的高频分量无损耗或低损耗地通过滤波器, 从而使得到的轮廓更规则。

高通滤波之后用四邻域法抽出图像的边界。对目标像素和它的四邻域进行探测, 若值相等, 对目标像素给以标记, 然后清除, 得到图像的边界。然后用 3 × 3 的模板清除图像边界上的毛刺, 使边界更为清晰, 减小边界编码时的出错率。之后需要对边界进行标记, 以得到有序的边界链码。

标记边界链码首先要对叶柄与叶面的结合点的位置进行标定。该位置的标定根据叶片有无叶柄分两种情况。有柄叶片, 取边界上、叶柄两侧最接近结合点位置的两点分别作为边界链码的起始点和结束点并以这两点连线的中点作为结合点; 无柄叶片, 则直接标定边界上最接近结合点位置的一点为结合点, 同时也作为起始点, 开始标记边界链码。

预处理后得到两组有用的数据: 一组是边界链码, 另一组是叶面部分的像素集。

1.4 特征提取

众所周知,植物叶片变化很大, 不同植物之间形态各不相同, 这是叶形识别的出发点。但很多不同植物的叶形会大体相似, 同一种植物的不同叶片, 形态却会有一定程度的分化, 这使得叶形的识别成为模式分析中的一个难题。如何从叶片图像上提取稳定有效的特征, 是解决叶形分类的一个关键问题。特征提取的第一步是对一些有用的参数进行计算。

1.4.1 长宽比 长宽比是叶形分类中应用很广泛的一个参数, 能够描述叶片是接近圆形还是扁长的。计算叶片的长宽比, 首先要计算其重心。重心计算公式如下:

$$\begin{cases} x_B = \sum_{i=1}^{N} x_i / N \\ y_B = \sum_{i=1}^{N} y_i / N \end{cases}$$

其中N是被识别的图像中叶面部分的像素点总数, (x_i, y_i):i=1, 2, …, N是这些像素点的坐标(Gonzalez and Woods, 2003)。

叶片样本主轴的确定依赖于重心与结合点的位置。可将重心与结合点的连线定为纵

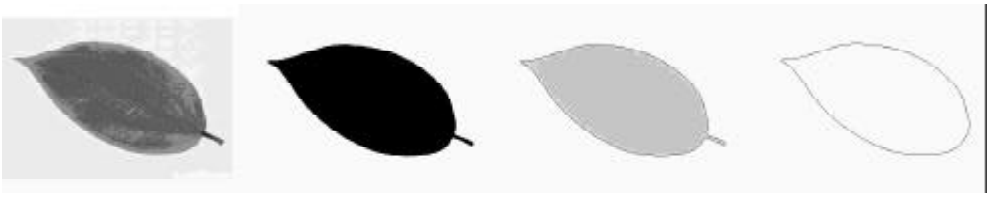


图2 叶片图像的预处理过程

Fig. 2 Leaf image processing

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t24-151

轴; 过重心, 与纵轴垂直的直线定为横轴。纵轴将叶面分为两个部分, 分别计算两个部分边界上的点到纵轴的距离, 两部分离纵轴最远的点(k_1和k_2)到纵轴的距离(W_1和W_2)之和即为叶面的宽。同时, 横轴也将叶面分为两个部分, 每个部分边界上有到横轴最远的点, 这两点到横轴的距离之和为叶面的长(L_1)。另外, 由横轴分成的两部分叶面中, 远离结合点的那部分边界上距横轴最远的点即是叶尖。

长宽的计算还有其他方法, 比如, 长可定为从叶柄与叶面的结合点出发与叶缘所有点间距离的最大值。可是考虑到叶基部形状的不同, 有些叶如心形叶, 其叶柄与叶面的结合点是向内凹陷的, 这就使得叶长的计算会有偏差。在多个样本的研究基础上, 考虑各种计算的优缺点, 最终我们提出以上的计算方法。由此确定长宽比计算公式:

长宽比＝$(W_1+W_2)/L_1$

1.4.2 最宽处位置 横轴分成的两部分叶面中, 在有结合点那部分确定离横轴最远的一点, 过该点作平行于横轴的直线(BL)。定义最宽处位置为k_1, k_2到该直线距离的平均值(L_2)与叶长(L_1)的比值。

最宽处位置指数＝L_2/L_1

1.4.3 叶基部凹陷程度 设结合点到直线BL的距离为L_3, 则叶基部凹陷程度可由下式表示:

叶基部凹陷程度指数＝L_3/L_1

1.4.4 叶缘及叶裂特征 边界线段的局部形状(用以识别叶缘及叶裂)可以用锯齿数、叶裂数进行定量描述。要了解如何实现这一点, 可以参考图3(A)和图3(B), 前者显示了边界的线段, 后者显示了以任意变量r的一维函数g(r)描述的线段。这个函数通过连接线段的两个端点并将线段旋转至水平方向得到。点的坐标也旋转相同的角度(Gonzalez and Woods, 2003)。

对于叶片样本, 分别以起始点和叶尖、叶尖和中点为端点, 进行变换, 得到两组一维函数, 用函数的局部的走势可判断该局部是否有锯齿或分裂。

1.5 分类依据

叶形在植物系统分类中占有重要位置(Mario, 2004)。传统植物学把植物的叶形分为阔卵形、卵形、披针形、圆形、阔椭圆形、椭圆形、长椭圆形、倒阔卵形、倒卵形、倒披针形、线形、剑线形、掌状、心形、扇形等(杨世杰, 2000)。本识别系统也主要根据传统分类学中有关叶形的定义, 以长宽比作为主要分类特征, 结合叶部的其他形态特征如叶最宽处所处位置、叶基部特征等进行分类。

2 系统测试和结果及分析

本实验用14种共337张叶片样本对识别系统进行了测试。样本叶形确定是通过查找书籍的记载和有经验的老师的判断来实现的, 该种判断作为正确判断, 计算机识别作为实验判断。后者与前者的比率作为正确识别率。本文的实验结果显示全体样本的正确识别率达93.2%(表1)。该14种植物包括具有心形、圆形、椭圆形、卵形、倒卵形、阔卵形、披针形等叶形的判断。

测试的结果显示虽然正确率很高, 但还没有达到100%的准确。主要原因可能是由一

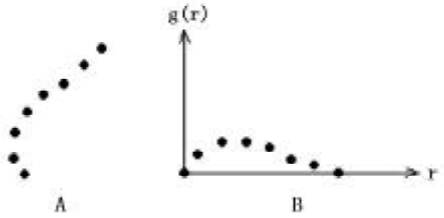


图3 叶缘特征提取示意图
A. 边界线段; B. 函数表示

Fig. 3 Sketch of leaf margin characteristics abstracting
A. Verge path; B. Function expressing

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t24-151

表 1 叶形(337 叶片)测试

Table 1 Testing of leaf shapes with 337 leaves

Species	Number of samples	Correctly classified samples	Accuracy (%)
Cercis chinensis	24	22	91.7
Nerium indicum	26	24	92.3
Osmanthus fragrans	20	18	90.0
Ligustrum lucidum	26	23	88.5
Cinnamomum camphora	23	20	87.0
Actinidia chinensis	22	21	95.5
Quercus glandulifera var. *brevipetiolata*	20	19	95.0
Acer amplum	27	25	92.6
Acer buergerianum	25	24	96.0
Acer oliverianum	26	25	96.2
Acer oblongum	21	19	90.5
Acer sinense	26	26	100
Acer palmatum	28	28	10
Cyclobalanopsis glauca	23	21	91.3
Total	337	314	93.2

些叶形相似而产生的混淆所致, 如心形叶被误识为相近的阔卵形等。又如椭圆形与卵形之间的相互误识。也可能是由于叶片样本本身的不甚规则产生了计算偏差, 另一方面由于选取的特征还不够精确全面, 有待进一步改进。

3 讨论

本文对叶片的预处理、特征提取和识别方法做了一些探讨。植物叶形的计算机识别, 将计算机视觉识别技术运用于植物分类学中, 综合了计算机科学、数学及植物分类学等多学科的知识, 是一个综合性很强的、跨学科的研究课题。国内外已有研究者做了一些相关的工作, 如美国的俄勒冈州立大学曾于2002年尝试用计算机手段建立基于叶形特征的植物识别系统, 其研究的相关内容未以论文形式发表。祁亨年等(2003)提出叶形识别概念, 并对其前景做了讨论与展望, 但未进行系统的开发。至于其他工作者的相关研究成果, 由于无法获取具体的资料, 因而没有办法进行系统比较。

一般而言, 图像可以采用匹配技术进行分类,匹配通常采用的方法有模板(或样本)匹配和关系结构匹配两种方法; 前者是原图像与模板之间点到点或区域到区域的相关度测量; 后者则是利用图论方法进行匹配。考虑到同类叶片内部样本间的变形, 用关系结构匹配的方法似乎更加合适。这就需要建立大量有效可靠的分类规则。在建立分类规则时, 植物分类学的知识非常重要, 直接决定了识别结果的可信度。

由实验结果可知, 现阶段叶形的计算机识别系统对常见的叶形类型能够进行较好识别, 正确率达95.3%, 为下一阶段的工作奠定了良好的基础。根据分类学上的描述, 叶尖可以分为渐尖、锐尖、尾尖、钝尖、尖凹、倒心形等, 叶基可分为心形、箭形、楔形、戟形、圆形等, 目前的识别系统尚不能对叶尖等进行精确识别。另外, 叶缘特征的分类还比较粗略, 有待细化, 正确率仍需提高, 这些问题都有待在今后的工作中予以解决。指纹、人脸、掌纹等识别系统的开发和完善为植物识别系统的研制和开发提供了有益参考和今

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t24-151

后努力的方向。也为本系统的进一步开发提供了许多技术上的借鉴。相信通过植物学家和计算机专家的共同努力,植物的自动识别一定能够取得进步,获得成功。

参 考 文 献

傅弘, 池哲儒, 常杰, 傅承新 (2004) 基于人工神经网络的叶脉信息提取——植物活体机器识别研究 I. 植物学通报, **21:** 429-436

胡红俊, 赵丽如, 贺贵明 (2001) 自动指纹识别系统设计. 计算机应用, **21(11):** 52-53

李兰友, 李玮, 白克壮编 (2002) Visual Basic. Net 图形图像编程与实例详解. 电子工业出版社, 北京, pp. 247-266

黎明, 严超华, 刘高航 (2000) 基于掌纹图像分析的身份识别系统. 中国图像图形学报, **5:** 134-137

祁亨年 (2003) 基于叶片特征的计算机辅助植物识别模型. 浙江林学院学报, **20:** 281-284

王昕 (1996) 一种肿瘤细胞显微图像处理与识别系统. 数据采集与处理, **12:** 292-295

吴泽晖, 汪柄权 (1999) 基于数学形态学的肝脏 B 超图像的纹理识别. 中国图像图形学报, **4:** 730-733

杨世杰主编 (2000) 植物生物学. 科学出版社, 北京, pp. 121-122

张翠平, 苏光大 (2000) 人脸识别技术综述. 中国图像图形学报, **5:** 885-894

赵静, 何东健 (2001) 果实形状的计算机识别方法研究. 农业工程学报, **17:** 165-167

赵先贵, 肖玲, 王勋银 (1999) 植物花粉图像识别系统研究——图像处理及特征提取. 西北林学院学报, **14 (4):** 31-34

Gonzalez C, Woods E (2003) Digital Image Processing. 电子工业出版社, 北京, pp. 156-163

Lynn DE, Waldren S (2001) Morphological variation in populations of *Ranunculus repens* from the temporary limestone lakes (Turloughs) in the west of Ireland. *Annals of Botany*, **87:** 9-17

Mario MS (2004) Graphic approach for morphometric analysis of Archaeopteris leaves. *Annales de Paléontologie*, **90:** 161-173

Tracy M (2000) Geographic variation and plasticity of leaf shape and size in *Begonia dregei* and *B. homonyma* (Begoniaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, **132:** 79-95

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t24-151