

作物病害机器视觉诊断研究进展

赖军臣^{1,2}, 李少昆^{1,2}, 明博^{1,2}, 王娜^{1,2}, 王克如^{1,2}, 谢瑞芝², 高世菊²

(¹新疆兵团绿洲生态农业重点开放实验室/新疆作物高产研究中心, 新疆石河子 832003; ²中国农业科学院作物科学研究所/
国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程, 北京 100081)

摘要: 据统计, 由病害引起的作物产量损失平均在 12% 以上, 病害不仅直接影响产量, 而且也严重降低农产品的品质。通过快速诊断识别作物病害而及时采取防治措施, 提高作物病害的诊断水平是保证有效防治病害的重要组成部分。机器视觉技术的发展为作物病害诊断和识别提供了快捷、低廉、无损检测的可能手段。本文综述了面向多种作物病害机器视觉诊断研究的进展, 归纳了作物病害机器视觉诊断的识别模式, 分析了诊断中存在的问题, 提出了相应的解决方法。

关键词: 作物; 病害; 机器视觉; 诊断; 进展

Advances in Research on Computer-Vision Diagnosis of Crop Diseases

LAI Jun-chen^{1,2}, LI Shao-kun^{1,2}, MING Bo^{1,2}, WANG Na^{1,2}, WANG Ke-ru^{1,2}, XIE Rui-zhi², GAO Shi-ju²

(¹Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Construction Crop/The Center of Crop High-Yield Research, Shihezi 832003, Xinjiang; ²Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences/The National Key Facilities for Crop Genetic Resources and Improvement, Beijing 100081)

Abstract: Statistics indicate that the crops output average loss caused by plant disease is above 12%, plant diseases not only affect the output directly, but also seriously reduce the quality of agricultural products. Taking the preventing and controlling measures promptly through rapid diagnosis and identification of crop diseases and improving the diagnosis level of crop diseases are an important part in preventing and controlling plant disease effectively. Development of computer-vision technology makes it possible to diagnose crop diseases quickly, economically and no-destructively. Firstly, the new progress of computer-vision diagnoses of crop diseases is reviewed, and the four types of technology routines of diagnosis of crop diseases are summarized. Secondly, the difficulties of diagnosing crop diseases with computer-vision are analyzed, and the possible solutions are discussed. Finally the development trend of computer-vision diagnosis of crop diseases is discussed.

Key words: crop; disease; computer-vision; diagnoses; progress

农业生产不仅要求高产, 而且需要优质。据统计, 由病害引起的作物产量损失平均达到 12% 以上。病害不仅直接影响产量, 而且也严重降低农产品的品质。及时准确的诊断, 采取合适的防治措施, 可以挽救作物的生命和产量, 如果诊断不当或失误, 就会贻误时机, 造成更大损失。作物病害主要有真菌病害、细菌病害、病毒病等侵染性病害和缺素、旱涝、盐碱害等生理性病害。其中, 真菌病害种类最多, 约 3 万余种。

每种作物都有几十至上百种病害, 如水稻上发现的侵染性病害在 200 种以上, 其中常见的病害有 30 种以上。由于作物的多样性及其生长状况和生长环境复杂多样性, 不同类型的病害又存在着混合发生、症状交叉现象, 使得作物病害的症状复杂多变, 且随着作物和品种的大范围引种、大气变暖、种植制度的变革, 作物病害的发生趋于种类增多, 诊断识别的难度加大; 而对病害诊断识别往往是少数研究某类作物病害的专家

收稿日期: 2008-04-28; 接受日期: 2008-07-28

基金项目: 国家“863”项目(2007AA10Z237、2006AA10Z207)

作者简介: 赖军臣(1972—), 男, 四川三台人, 博士研究生, 研究方向为机器视觉在农业中的应用。E-mail: ljc-hm@163.com。通信作者李少昆(1963—), 男, 甘肃张掖人, 研究员, 博士, 研究方向为作物栽培与信息化。Tel: 010-82108891; E-mail: Lishk@mail.caas.net.cn

诊断某类作物的病害,很难满足现实生产多种作物、不同区域同时需要诊断病害的要求。如何利用现代信息技术将不同作物病害的诊断防治技术固化在仪器中,代替专家们诊断病害,是作物病害诊断对现代信息技术的现实需求。

传统的作物病害鉴别与诊断主要有以下几种方法:一是通过农业病害图谱,此法直观,但病害种类不全,不够准确;二是借助农业病害著作,此法准确,但需要一定的专业知识,且翻阅速度较慢;三是利用分类检索表,此法最为准确,速度较快,但仅适合植保专业人员,而且其中缺乏生活史、发生规律、预测及防治方法描述等。对于病害危害程度分级的测定主要采用纸卡法。取厚薄均匀的纸卡,计算面积并称重,求得单位面积的重量,然后在纸卡上描绘叶片和病斑的大小,剪下后分别称重,求得叶片和病斑的面积,从病斑占叶片面积的百分比即可确定病害叶片的危害级别。该法费时费力,且受主观因素的影响误差比较大。随着机器视觉技术的应用和发展,利用计算机图像处理技术对作物病害图像进行处理、分割、识别,从而实现病害自动化识别的思想将成为可能。采用机器视觉和图像分析系统在获取病害叶片图像的同时即可将病害种类、危害程度和防治方法同步的显示给用户,因此植物病害机器视觉诊断具有简便、迅速、实时、客观、准确和不受人为因素影响的优点。将机器视觉引入作物病害防治领域,实现病害的自动化诊断,从而为作物病害的无损检测、快速诊断提供了新的途径和方法^[1]。

1 作物病害机器视觉诊断研究进展

近 30 年来计算机视觉在土壤和杂草等背景的识别、叶面积和株高测量、叶片的形态识别、作物营养信息监测等农业领域开展了研究应用^[2-5]。作物病害机器视觉诊断的最早报道是 1989 年穗波信雄等利用计算机视觉技术分别对缺乏钙、铁、镁营养元素的苾荳叶片进行了一些基础研究,他们利用 RGB 模型的 R、G、B 二体直方图分析了正常和病态的颜色特征^[6]。植物病害的机器视觉诊断取得的进展主要集中在近 10 年,但突破性成果较鲜见;这些研究从不同侧面为植物病害的机器视觉诊断技术的发展,以及实现自动化诊断提供了理论和实践基础。

植物病害由于其致病病原物种类不同会产生形状、大小、颜色、纹理等方面有差异的病斑、孔洞等特异性症状,植保专业技术人员就是根据这些病症的

差异进行田间诊断的。需要人类视觉的场合计算机视觉几乎都可以介入,人类视觉无法感知的场合,计算机视觉也突显其优越性,病害症状的特征直接反映了作物所受病害的种类以及病害的危害程度,所以利用图像识别技术预处理病害图像后,提取病害图像颜色、纹理和形态等特征,选取有效特征组合实现对病害正确地分类和发病程度定量地分级理论上是可行的,目前这方面的研究近年来刚刚起步。

根据作物病害机器视觉诊断研究所采用的病害图像特征,对已有研究可分为基于颜色特征、基于纹理特征、基于数学形态特征和基于多元特征的作物病害机器视觉诊断 4 个层次,其取得的主要进展是:

1.1 基于颜色特征的作物病害机器视觉诊断研究

对于计算机视觉系统来说,颜色是物体表面的属性,以颜色特征建立的病害视觉识别就是对病斑和叶片病害图像的描述或模型之间建立起对应关系。据相关文献,穗波信雄等利用计算机视觉技术分别对缺乏钙、铁、镁营养元素的苾荳叶片进行了露天图像采样,分别把整个叶片图像直方图的形状和位置作为特征,又用阈值法分割出叶片上病态部分和正常部分的面积比作为特征,但是提取的特征区分效果不明显。Ahmad 等^[7]利用 3 种图像的彩色模型 RGB, HIS, rgb (规一化 RGB) 评价玉米由于缺水和缺氮对叶片造成的色彩特征变化。研究发现 3 种模型中 HSI 模型能更清晰地表征玉米叶片的颜色变化。其中 I 值能够有效地同时识别叶片在 3 种不同水分(低、中、高)和 3 种不同的氮水平(低、中、高)情况下的颜色变化。而 b 值可以识别叶片在 3 种不同的氮水平(低、中、高)状态下的颜色变化。因此,将 HSI 模型用于颜色评价和图像处理是比较有效的。Martin 等^[8]用图像分析软件分割玉米花叶条纹病叶变色部位,并对发病程度进行评测,取得满意效果。徐贵力等^[9]和刘志华等^[10]利用计算机视觉技术对黄瓜斑疹病叶片进行采样,利用正常部分和病斑部分的分光反射特性,采用遗传算法,对病害进行了识别。徐贵力等^[9]利用 RGB 颜色模型的 r、g、b 的均值、标准偏差、方差及 rgb 的相互间的相关系数 $r(\text{rg})$ 、 $r(\text{rb})$ 、 $r(\text{gb})$ 作为区分番茄缺素病的特征。结果显示,图像 RGB 颜色模型 b 的标准偏差 $\text{std}(b)$ 特征项可以把正常叶片和缺钾叶片区分开。图像 RGB 颜色模型中 r 与 g 的相关系数 $r(\text{rg})$ 特征项基本上可以把正常叶片、缺氮叶片和缺钾叶片区分开。Shatadal 等^[11]利用 RGB 颜色空间 (R、G、B) 的颜色值性对大豆种子图像分析,采用前馈神经网络对

健康种子、青霉为害的种子、豆象蛀食的种子进行分类训练，识别健康种子的准确率为 96.6%，加热受损的种子和青霉为害的种子分别为 95% 和 90%；而对豆象为害的种子则不能很好的识别。张伟等^[12]利用 RGB 色度模型的百分率直方图法提取图像的颜色特征，可将番茄缺氮、缺钾叶片和正常叶片区分开来。胡春华等^[13]在 RGB 和 HSI 颜色模型中对黄瓜叶片颜色特征进行分析发现 B 方差、R 均值和 H（色调）能较好地识别缺氮与正常、缺镁与正常的颜色特征。利用 HSV 系统的 H 色调相对差值百分率直方图法找出了缺素叶片的病态区间。崔艳丽等^[14]以色调 H 作为颜色特征参数对黄瓜角斑病、斑疹病研究发现，在色调（48~50）和（45~47）区间，区分正常叶片与病变叶片的效果最好。马晓丹等^[15]运用图像处理技术和神经网络技术，基于病斑 RGB 颜色特征实现了大豆叶片病斑区域的识别（准确率可达 100%）。

从农田应用的角度出发，对有些颜色模型中病斑的颜色特征值在大田环境下随着光照强度的变化而变化，且病斑的颜色在不同的发病时期会发生变化等因素的考虑；建立病斑的颜色特征和病害图像之间的对应关系难度较大。因此，病害图像的颜色特征宜作为图像处理阶段图像增强和病斑分割的瞬态特征，不宜作为病斑识别的稳定特征；基于颜色特征的病斑智能分割算法是病害图像处理阶段的难题和今后研究的重点^[16-17]。

1.2 基于纹理特征的作物病害机器视觉诊断研究

纹理是所有的表面所具有的内在特性，它包含了关于表面的结构安排及周围环境的关系。它作为物体的一个重要特征是基于内容检索的一条主要线索。纹理特征是区域性特征，表征着多个像素之间的共同性质，一般来说，它既是像素的分布规律，也有其变化的表征；既有像素本身的颜色信息，也有与其领域的空间关系^[18]。因此，纹理特征较颜色特征层次高，当目标像元颜色特征与图像背景相差不明显时，纹理分析的效果要好于颜色分析。

徐贵力等^[19]针对无土栽培番茄缺素叶片，提出了不受对象形状大小影响的彩色图像纹理的几种统计算法，分别对用 RGB 和 HIS 两种颜色系统表示的缺素番茄叶片图像的 r、g、b、H、S、I 数据矩阵进行了傅立叶变换，图像实数数据变成了频域中的复数，对变换后的图像进行了类似于颜色特征提取方法的一些统计特性分析和相关系数计算。实验证明，方法有效可行，为番茄缺素病的模式识别提供了重要的识别参数。

张伟等^[12]利用灰度共生矩阵的惯性值能够部分地区分番茄缺素叶片和正常叶片；采用标准金字塔算法进行小波分解变换，提取 7 个频段的范数对缺素叶片图像纹理做了进一步的判别。田有文等^[20]利用色度矩提取葡萄黑豆病、白粉病、霜霉病叶片纹理图像的特征向量，然后将支持向量机（SVM）分类方法应用于病害的识别，结果表明径向基核函数的 SVM 分类方法在葡萄病害纹理图像的识别方面优于其它类型核函数的 SVM，其总体识别率达 90% 以上。田有文等^[21]利用色度矩提取玉米大斑病、小斑病、灰斑病叶片纹理图像的特征向量，然后将支持向量机（SVM）分类方法应用于病害的识别，结果表明径向基核函数的 SVM 分类方法对玉米病害纹理图像的识别率平均为 87.5%。Pydipati 等^[22]在实验室光照环境下，采用 HIS 颜色模型，用色彩共生纹理分析法结合统计分类算法对柑橘正常叶片、油斑病叶片、黑斑病叶片、疮痂病识别，准确率超过 95%。为了减轻计算量，剔除了图像亮度特征。识别模型对光照强度变化的自然环境下的识别不能充分表达。张静等^[23]利用归一化灰度共生矩阵计算黄瓜角斑病和黄瓜斑疹病的纹理特征参数，提取了能量、惯性、熵、均匀性等特征参数描述叶片图像的表面病症，对比后发现惯性值作为特征参量来区分这两种病害比较准确。

纹理分析的主要研究内容包括纹理描述、纹理分割、纹理分类等，与图像颜色特征相比，纹理能更好地兼顾图像宏观性质与细部结构两个方面，即可用于图像处理阶段的图像分割又可用于图像分类识别，因而效率较高^[24]。基于分形纹理分类方法的特征参量在一定范围内独立于图像分辨率和视角而稳定存在，比较符合自然环境条件下应用，因而，是今后重点研究的方向^[25-30]。

1.3 基于形状特征的作物病害机器视觉诊断研究

形状是描述图像内容的一个非常直观而又重要的特征。形状常与目标联系在一起，所以形状特征可以看作是比颜色和纹理要高层的特征。Chesmore 等^[31]开发了对漂白后的孢子图像进行分析的系统，可从给定的图像中自动定位孢子，并提取其周长、表面积、突起数及突起的大小、最大（小）半径和似圆度等相关参数，利用主成分分析方法进行了小麦印度腥黑穗病（*tilletia indica*，检疫性有害生物）孢子和黑麦草腥黑穗病菌（*tilletia walkeri*）孢子的分类，准确率达到 97%。马晓丹等^[32]运用图像处理技术和神经网络技术，基于病斑颜色特征实现了大豆叶片病斑区域的识别，

准确率可达 100%，并提取了病斑的面积、周长、圆度、复杂性、伸长度、球状性、重心坐标、长短轴比 8 个形态特征参数。

形状特征多用于图像识别的最后阶段，比较适合表达区分病健组织边界清晰，形状特征明显，叶片局部显症的叶斑类病害，对全叶显症，病健组织间界限不明显的缺素症和病毒病等变色类病害，则不适宜，而用纹理特征效率可能会高。

1.4 基于多元特征的作物病害机器视觉诊断研究

赵玉霞等^[33]根据玉米叶部病害特点，综合应用阈值法、区域标记方法与 Freeman 链码法，对玉米叶部病害图片进行图像分割和特征的提取，从图像中提取玉米叶部典型病斑的特征包括：B 值在小于 30 病斑的个数，H 值在 350~359 和 0~15 之病斑的个数，圆形成度，病斑面积小于 50 个像素的病斑比例等 4 个特征，根据这些特征，利用二叉检索进行推理诊断，最后使用 Visual C++ 开发了病斑诊断系统，系统对玉米叶部的锈病、弯孢菌叶病斑、灰斑、褐斑、小斑的诊断准确率在 80% 以上。

2 作物病害机器视觉诊断存在的主要问题

作物病害机器视觉诊断技术研究虽然取得了一定的进展，在克服传统诊断方法的植保专业技术人员不可替代、费时、成本高、受人因素为影响等缺点方面表现出极大的潜在优势。目前作物病害机器视觉诊断技术从研究的深度、应用的范围和实用化角度来看，还存在很多不足，需要进一步深入研究。主要有以下几方面的问题：

2.1 作物病害机器视觉诊断应用空间的拓展

在实验室条件下作物病害机器视觉诊断正确率高，但扩展到大田应用时，难度较大。主要原因是目前的研究很多都是基于人工营造环境下的病害图像诊断，对于大田复杂的背景环境诊断识别研究的比较少。因此，作物病害机器视觉诊断从实验室向大田扩展时需要综合考虑所采用的病害图像识别特征在复杂背景环境条件下的稳定性、可获取性，以便作物病害机器视觉诊断从实验室向大田扩展。

2.2 作物病害机器视觉诊断的时间扩展

对于某一发病时期病害图像建立的作物病害机器视觉诊断系统，用于不同发病时期诊断识别率低。主要原因是不同发病时期，作物病斑的大小、颜色等图

像信息不断发生变化，基于瞬态（静态）的病害图像诊断识别系统，很难诊断识别处于动态的病害图像。作物病害机器视觉诊断系统应充分考虑不同发病时期，识别特征的变化规律，探索不同发病时期作物病害机器视觉诊断转移技术。

2.3 多元特征的互补

作物病害机器视觉诊断目前多数都是利用病害图像颜色、纹理、形状等单变量特征参数，可以为少数几种病害的识别提供有效识别参数，而对于作物多数病害的识别就难以为济。前人的研究多是从图像处理技术的角度来提取病害的特征信息，而在结合植物病理学知识，依据病害类型和病状的类型采用不同图像处理技术方面缺乏考虑。作物病害机器视觉诊断应综合利用颜色、纹理和形态等特征参数结合植物病理学知识进行多变量特征参数互补，建立科学、完整、系统的数据图像特征参数组合模型，组成特征矢量，为病害的诊断识别服务^[34-35]。

2.4 高效的图形图像算法的研究

由于生物的多样性、作物生长状况及其生长环境复杂，植物病害图像具有特征多样性、复杂性和模糊性的特点，使得计算机视觉技术在农业领域远复杂于工业领域，目前的一些图形图像算法还不能满足计算机视觉在作物病害诊断中的应用。在以后的研究中，要侧重模糊数学、遗传算法、神经网络、图像分形纹理、组合优化等理论的研究^[36-44]。

3 结语

综上所述，应用计算机视觉技术进行作物病害诊断是信息技术在作物病害领域应用的重要发展方向，具有效率高、应用前景广阔等优势。与网络技术、“3S”技术相融合是今后的发展趋势。

3.1 向实时、快速、便携式机器视觉诊断仪发展

利用嵌入式系统的技术将机器视觉智能诊断软件系统和病害防治专家系统整合在便携式仪器中，构建实时、快速、便携式智能田间病害诊断仪^[45-47]。

3.2 与网络和专家系统结合，实现在线诊治

植物病害机器视觉诊断与传统的病害网络专家系统相结合，可发挥优势互补效应，提高病害的诊断水平。

3.3 与光谱遥感技术相结合，提高病害的识别效率

光谱图像遥感技术既能对目标成像，又能测量目标物的波谱特性。因此，将图像处理技术应用于遥感图像处理，结合病害的波谱特性可提高作物病害的识

别效率^[48-50]。

3.4 同精准农机具相结合, 提高变量投入的精准化水平

将图像处理技术与田间精准机械相结合, 不仅可以实现精确定位, 还有利于提高生产效率、节约成本、减少农田污染^[51-52]。

References

- [1] Georgieva K, Georgieva Y, Daskalov D. Theoretical substantiation of model of system for evaluation a state of vine plants and taking a decision for plant protection activities. *Trakia Journal of Sciences (Series Social Sciences)*, 2003, 1: 30-32.
- [2] 李少昆, 王崇桃. 图像及机器视觉技术在作物科学中的应用进展. 石河子大学学报(自然科学版), 2002, 6(1): 79-86.
Li S K, Wang C T. A review of the application of image and machine-vision technique in crop production and scientific research field. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2002, 6(1): 79-86. (in Chinese)
- [3] 高 华, 周 林. 计算机视觉及模式识别技术在农业领域的应用. 山东农业大学学报(自然科学版), 2003, 34(4): 590-593.
Gao H, Zhou L. Application of computer-vision and pattern recognition in agriculture field. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2003, 34(4): 590-593. (in Chinese)
- [4] 林开颜, 徐立鸿, 吴军辉. 计算机视觉技术在作物生长监测中的研究进展. 农业工程学报, 2004, 20(2): 279-283.
Lin K Y, Xu L H, Wu J H. Advances in the application of computer-vision to plant growth monitoring. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(2): 279-283. (in Chinese)
- [5] 袁道军, 刘安国, 刘志雄, 张方方. 利用计算及视觉技术进行作物生长监测的研究进展. 农业网络信息, 2007, (2): 21-25.
Yuan D J, Liu A G, Liu Z X, Zhang F F. Application and expectation of computer-vision to plant growth monitoring. *Agriculture Network Information*, 2007, (2): 21-25. (in Chinese)
- [6] 刘志华, 程鹏飞, 崔艳丽, 董晓志. 温室植物病害的图像处理及特征值提取方法的研究(一). 农业工程学报(学术年会论文集), 2005: 400-405.
Liu Z H, Cheng P F, Cui Y L, Dong X Z. A study on the method of image processing and extract of characteristic values for greenhouse plants disease. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Series Annual Academic Meeting)*, 2005: 400-405. (in Chinese)
- [7] Ahmad I S, Reid J F. Evaluation of colour representations for maize images. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1996, 63: 185-196.
- [8] Martin D P, Rybicki E P. Microcomputer-based quantification of maize streak virus symptoms in zea mays. *Phytopathology*, 1998, 88(5): 422-427.
- [9] 徐贵力, 毛罕平, 李萍萍. 缺素叶片彩色图像颜色特征提取的研究. 农业工程学报, 2002, 18(4): 150-154.
Xu G L, Mao H P, Li P P. Extracting color features of leaf color images. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2002, 18(4): 150-154. (in Chinese)
- [10] 刘志华, 程鹏飞. 黄瓜侵染性病害图像处理及特征值提取方法的研究. 山西农业大学学报, 2006, 26(3): 351-354.
Liu Z H, Cheng P F. A study on the method of image processing and extract of characteristic values for cucumber infectious disease. *Journal of Shanxi Agriculture University*, 2006, 26(3): 351-354. (in Chinese)
- [11] Shatadal P, Tan J. Identifying damaged soybeans by color image analysis. *Applied Engineering in Agriculture*, 2003, 19(1): 65-69.
- [12] 张 伟, 毛罕平, 李萍萍, 夏志军. 缺素叶片图像颜色和纹型特征参数提取的研究. 农机化研究, 2003, (4): 60-63.
Zhang W, Mao H P, Li P P, Xia Z J. Research on extracting color and texture features of plant nutrient deficiency leaves' image. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2003, (4): 60-63. (in Chinese)
- [13] 胡春华, 李萍萍. 基于图像处理的黄瓜缺氮与缺镁判别的研究. 江苏大学学报(自然科学版), 2004, 25(1): 9-12.
Hu C H, Li P P. Application of image processing to diagnose cucumbers short of Mg and N. *Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 2004, 25(1): 9-12. (in Chinese)
- [14] 崔艳丽, 程鹏飞, 董晓志, 刘志华, 王双喜. 温室植物病害的图像处理及特征值提取方法的研究. 农业工程学报, 2005, 21(增刊): 32-34.
Cui Y L, Cheng P F, Dong X Z, Liu Z H, Wang S X. Image processing and extraction color features of greenhouse diseased leaf. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(Suppl.): 32-34. (in Chinese)
- [15] 马晓丹, 祁广云. 基于神经网络的大豆叶片病斑的识别与研究. 黑龙江八一农垦大学学报, 2006, 18(2): 84-87.
Ma X D, Qi G Y. Investigation and recognition on diseased spots of soybean laminae based on neural network. *Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University*, 2006, 18(2): 84-87. (in Chinese)
- [16] Zhang M X, Shang Z W, Shen J Y. A novel unsupervised color image fuzzy classification scheme based salient regions. *International*

- Journal of Computer Science and Network Security*, 2008, 8(1): 170-178.
- [17] Ahmad I S, Reid J F, Paulsen M R, Sinclair J B. Color classifier for symptomatic soybean seeds using image processing. *Plant Disease*, 1999, 83(4):320-327.
- [18] Kang K H , Yoon Y I , Choi J S , Kim J T , Koo H , Choi J H. Additive texture information extraction using color coherence vector. *Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Multimedia Systems & Signal Processing*, 2007: 57-59.
- [19] 徐贵力, 毛罕平, 李萍萍. 彩色图像颜色和纹理特征提取的应用算法. *计算机工程*, 2002, 28(6): 25-27.
Xu G L, Mao H P, Li P P. Application algorithm to extract color images color and textures features. *Computer Engineering*, 2002, 28(6): 25-27. (in Chinese)
- [20] 田有文. 基于纹理特征和支持向量机的葡萄病害的识别. *仪器仪表学报*, 2005, 26(8): 606-608.
Tian Y W. A method of recognizing grape disease based on texture feature and support vector machine. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2005, 26(8): 606-608. (in Chinese)
- [21] 田有文, 王 滨, 唐晓明. 基于纹理特征和支持向量机的玉米病害的识别. *沈阳农业大学学报*, 2005, 36(6): 730-732.
Tian Y W, Wang B, Tang X M. Recognition of maize disease based on texture feature and support vector machine. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2005, 36(6): 730-732. (in Chinese)
- [22] Pydipati R, Burks T F, Lee W S. Identification of citrus disease using color texture features and discriminant analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2006, 52: 49-59.
- [23] 张 静, 王双喜, 董晓志, 程鹏飞. 基于温室植物叶片纹理的病害图像处理及特征值提取方法的研究. *沈阳农业大学学报*, 2006, 37(3): 282-285.
Zhang J, Wang S X, Dong X Z, Cheng P F. A study on method of extract of texture characteristic value in image processing for plant disease of greenhouse. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2006, 37(3): 282-285. (in Chinese)
- [24] 王耀南, 王绍源, 毛建旭. 基于分形维数的图像纹理分析. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2006, 33(5): 67-72.
Wang Y N, Wang S Y, Mao J X. Image texture analysis based on fractal dimension. *Journal of Hunan University(Natural Sciences)*, 2006, 33(5): 67-72. (in Chinese)
- [25] Kothainachiar S, Wahita Banu Dr R S D. A novel image segmentation based on a combination of colour and texture Features. *ICGST International Journal on Graphics, Vision and Image Processing*, 2007, 7(2): 45-51.
- [26] 姜淑华, 田有文, 孙海波. 农作物病害危害程度自动测定与分级的研究. *农机化研究*, 2007, (5): 61-63.
Jiang S H, Tian Y W, Sun H B. Research of automatic menstruation and classification for degree disserved of crop disease. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2007, (5): 61-63. (in Chinese)
- [27] 王积分, 赵增华, 舒炎泰. 小波分析用于菌落图像的纹理分割. *计算机研究与发展*, 1999, 3(12): 1467-1471.
Wang J F, Zhao Z H, Shu Y T. Colony images texture segmentation based on wavelet analysis theory. *Journal of Computer Research & Development*, 1999, 3(12): 1467-1471. (in Chinese)
- [28] 程鹏飞. 植物病害的图像处理及特征值提取方法的研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2005.
Chen P F. Recognition and extract of characteristic values for plants disease[D]. Taiyu: Shanxi Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- [29] 许漫坤. 基于特征的纹理特征提取、分类与检索方法研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2003.
Xu M K. Study on method for texture extraction, texture classification and texture retrieval based on feature[D]. Zhengzhou: PLA Army Information Engineering University, 2003. (in Chinese)
- [30] 赵 锋, 赵荣椿. 纹理分割及特征提取方法综述. *中国体视学与图像分析*, 1998, 3(4): 238-245.
Zhao F, Zhao R C. Summary of method for image texture segmentation and feature extraction. *Chinese Journal of Stereology and Image Analysis*, 1998, 3(4): 238-245. (in Chinese)
- [31] Chesmore D, Bernard T, Inman A J, Bowyer R J. Image analysis for the identification of the quarantine pest *Tilletia indica*. *EPPO Bulletin*, 2003, 33(3): 495-499.
- [32] 马晓丹, 祁广云. 基于神经网络的大豆叶片病斑的识别与研究. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2006, 18(2): 84-87.
Ma X D, Qi G Y. Investigation and recognition on diseased spots of soybean laminae based on neural network. *Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University*, 2006, 18(2): 84-87. (in Chinese)
- [33] 赵玉霞, 王克如, 白中英, 李少昆, 谢瑞芝, 高世菊. 基于图像识别的玉米叶部病害诊断研究. *中国农业科学*, 2007, 40(4): 698-703.
Zhao Y X, Wang K R, Bai Z Y, Li S K, Xie R Z, Gao S J. Research of maize leaf disease identifying system based image recognition. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(4): 698-703. (in Chinese)
- [34] Tsai C F, Hung C. Automatically annotating images with keywords: A review of image annotation systems. *Recent Patents on Computer Science*, 2008, 1: 55-68.
- [35] ChaerleIL, Leinonen I, Jones H G, Dominique Van Der Straeten. Monitoring and screening plant populations with combined thermal

- and chlorophyll fluorescence imaging. *Journal of Experimental Botany*, 2007, 58(4): 773-784.
- [36] Leemans V, Magein H, Destain M F. Defect segmentation on 'Jonagold' apples using colour vision and a Bayesian classification method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1999, 23: 43-53.
- [37] Stevens M M, Fox K M, Warren G N, Cullis B R, Coombes N E, Lewin L G. An image analysis technique for assessing resistance in rice cultivars to root-feeding chironomid midge larvae. *Field Crops Research*, 2000, 66: 25-36.
- [38] Manh1 A G, Rabatel1 G, Assemat L, Aldon M J. Weed leaf image segmentation by deformable templates. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2001, 80(2): 139-146.
- [39] Quevedo R, Carlos L G, Aguilera J M, Cadoche L. Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image texture analysis. *Journal of Food Engineering*, 2002, 53: 361-371.
- [40] Mery D, Pedreschi F. Segmentation of colour food images using a robust algorithm. *Journal of Food Engineering*, 2005, 66: 353-360.
- [41] 陈永强, 陆安生, 胡汉平. 基于分形的图像分析方法综述. *计算机工程与设计*, 2005, 26(7): 1781-1783.
- Chen Y Q, Lu A S, Hu H P. Summary of image analysis method based on fractal. *Computer Engineering and Design*, 2005, 26(7): 1781-1783. (in Chinese)
- [42] Laaksonen J, Koskela M, Laakso S, Oja E. Self-organising maps as a relevance feedback technique in content-based image retrieval. *Pattern Analysis & Applications*, 2001, 4: 140-152.
- [43] Nejad H V, Pourreza H R, Ebrahimi H. A novel fuzzy technique for image noise reduction. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2006, 14: 390-395.
- [44] Chan S, Sainarayanan G. Fuzzy-based boundary enhancement for echocardiogram using local image characteristics. *Malaysian Journal of Computer Science*, 2006, 19(2): 151-159.
- [45] 诸薇娜, 周昌乐, 徐丹, 许家侗. 基于颜色纹理的图像多特征检索技术在中医舌诊中的应用研究. *中国图像图形学报*, 2005, 10(8): 992-999.
- Zhu W N, Zhou C L, Xu D, Xu J T. A multi-feature CBIR method on color and texture in the traditional Chinese medicine tongue diagnosis. *Journal of Image and Graphics*, 2005, 10(8): 992-999. (in Chinese)
- [46] Matsuo K, Nishiwaki K, Zhang S H, Yashiro M. Development of experimental setup for distinction of disease plant. Portland: An ASABE Meeting Presentation//*American Society of Agricultural and Biological Engineerings*, 2006: 9-12.
- [47] 朱庆文. 基于脉诊舌诊信息提取与识别的便携式集成辅助诊疗设备研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2007.
- Zhu Q W. Research on portable diagnosis and treatment equipments of pulse diagnosis and glossoscopy[D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2007. (in Chinese)
- [48] Borhan M S, Panigrahi S, Lorenzen J H, Gu H. Multispectral and color imaging techniques for nitrate and chlorophyll determination of potato. *Transactions of the American Society and Agricultural Engineers*, 2004, 47(2): 599-608.
- [49] Mehl P M, Chen Y R, Kim M S, Chan D E. Development of hyperspectral imaging technique for the detection of apple surface defects and contaminations. *Journal of Food Engineering*, 2004, 61: 67-81.
- [50] West J S, Bravo C, Oberti R, Lemaire D, Moshou D, McCartney H A. The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 2003, 41: 593-614.
- [51] Oerke E C, Steiner U, Dehne H W, Lindenthal M. Thermal imaging of cucumber leaves affected by downy mildew and environmental conditions. *Journal of Experimental Botany*, 2006, 57(9): 2121-2132.
- [52] Yang C C, Prasher S O, Landrya J A, Ramaswamy H S. Development of a herbicide application map using artificial neural networks and fuzzy logic. *Agricultural Systems*, 2003, 76: 561-574.

(责任编辑 郭银巧)