

利用机器视觉识别杂草图像特征的研究进展

马兆敏 胡波 黄玲 李克俭 (广西工学院电子信息与控制工程系, 广西柳州 545006)

摘要 总结了近年来利用机器视觉识别杂草中所使用颜色、形状、纹理等图像特征的研究进展, 提出了今后相关技术的一些研究方向和方法。

关键词 杂草; 图像; 特征

中图分类号 S124+.9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)07-02613-02

Research Advance of Recognizing Image Features of Weed by Machine Vision

MA Zhao-min et al (Department of Electronic Information and Control Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou, Guangxi 545006)

Abstract The research advance of image features such as color, shape and texture used in recognizing weed by machine vision in recent years was summarized and some research directions and methods of relative techniques were put forward.

Key words Weed; Image; Feature

针对草害导致作物产量下降、质量受损的现象, 农业生产中现多通过大面积喷洒除草剂进行防治。但全球范围内大量使用除草剂对生态环境和物种延续带来了很大的压力。因此, 为降低杂草危害程度, 减轻环境污染, 减少除草劳动力, 实现杂草控制的自动化、科学化研究倍受关注。随着图像处理 and 人工智能等技术的逐渐成熟, 通过机器视觉开发自动除草设备成为可能。自动除草设备以实现智能喷洒除草剂或机械除草为目的, 通过图像处理技术识别田间杂草成为现代农业的研究热点。已有研究把图像处理技术识别杂草分为图像采集、图像分割、模式识别、后续处理4个阶段。图像采集是指通过各种设备获取田间图像, 相关技术已成熟。图像分割是以区分田间植被和土壤等背景为目标的阶段; 模式识别阶段的目标是识别作物和杂草。后续处理阶段是由识别结果得出喷洒除草剂所需的参数。图像分割和模式识别两个阶段主要依赖反映图像信息的图像特征进行操作, 因此图像特征的研究是利用机器视觉识别杂草的关键技术。

1 杂草识别图像特征国内外研究现状

杂草识别中图像特征的提取集中在叶片的颜色、形状、纹理3类特征, 这主要是现有设备条件下叶片图像的信息量相对较大, 另外除杂草多在植株出苗时, 此时植物叶片以外的其他器官差异不明显。光学研究表明, 任何颜色都可用红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色按一定的比例配成。所以现在使用的RGB彩色图片中每个像素点都包括3个灰度值, 分别表示红(R)、绿(G)、蓝(B)3种光的强度, 从而表示不同的颜色。数字图像就是由成千上万个像素点组成的矩阵, 相应灰度矩阵表示的图像就是图像处理的原始数据, 图像特征就是灰度矩阵所包含的图像信息。

1.1 颜色特征 植物和土壤等背景的颜色有明显差别, 因此在区分植被和背景为目标的图像分割阶段主要使用颜色特征作为图像特征。颜色特征就是由每个像素点的R、G、B值进行各种计算得到的图像特征, 通常3个值归一化后的结果分别表示为r、g、b。1995年Webbecke等对在不同土壤、作物残留物和光照变化的条件下采集的杂草图像进行分析,

发现在r-b、g-b、 $(g-b)/(r-g)$ 、 $2g-r-b$ 、H等颜色特征中超绿特征 $2g-r-b$ 的分割效果最好^[1]。这一结果被广泛接受, 在现有研究中超绿特征作为颜色特征的代表成为最主要的分割特征。

近几年通过特征提取算法分析、引入智能算法优化等改进措施, 颜色特征对杂草图像的分割效果不断提高。2004年Meyer等引入模糊集合综合超绿特征($2g-r-b$)和超红特征($1.4r-g-b$)改进了杂草图像的分割算法^[2]。2005年毛文华等在杂草分割算法的实时性的研究中采用 $2G-R-B$ 、 $(G-R)/(G+R)$ 、H3种颜色特征对分割算法的性能进行了比较^[3]。2007年周平等提出了基于RGB分量运算和色域位屏蔽压缩的杂草实时检测方法, 该方法的处理时间几乎不受目标复杂度影响, 对颜色分布波动具有较强的鲁棒性^[4]。2007年胡波等通过像素点颜色和邻域颜色信息建立二维直方图并据此分割杂草图像, 减少了叶片污损和反光对分割结果的影响^[5]。2007年毛罕平等将颜色特征和阈值转换为RGB空间中的一个分割面, 采用Bayes理论评价分割误差、优化分割特征和阈值, 提高了杂草图像的分割精度^[6]。但是, 令人遗憾的是无论图像分割的效果如何提高, 现有分割方法产生的分割误差依然极大地影响识别结果, 另外对各种颜色特征的分割效果也没有统一的评价标准。

由于作物和杂草多为绿色植物, 单独使用颜色特征很难完成两者的区分, 在不使用其他种类图像特征的前提下, 主要通过杂草和作物的位置进行区分。2007年Tellaeche等利用颜色特征将植被和背景分离, 再根据植被的位置判断是否是杂草^[7]。2007年Gé等通过颜色特征将植被和背景区分后, 寻找田间道路的消失点, 通过Hugh变换得到作物行的位置, 从而确定杂草的位置^[8]。

1.2 形状特征 由于各种植物在外形上存在差异, 所以形状特征也是区分杂草和作物的主要特征。相对颜色特征主要反映各个像素点灰度值的差异, 形状特征关注的是图像中植物区域所包含的像素点个数、位置及其在实际环境中的尺寸。如将物体中包含的像素个数定义为面积, 用边界像素点个数表示周长等。形状特征在已有杂草识别的研究中作为主要的识别特征取得了一定的效果, 特别是神经网络、分形等数学工具的引入进一步提高了对杂草的识别率。1986年Geyer等用伸长度、紧密度、中心惯性矩和主轴惯性矩识别早

基金项目 广西教育厅科研项目(200708LX171)。

作者简介 马兆敏(1975-), 女, 安徽亳州人, 硕士, 讲师, 从事优化设计、机器视觉方面的研究。

收稿日期 2007-11-15

期植物^[9]。1995 年 Webbecke 等研究大豆和玉米的 10 种常见伴生杂草,发现最好的形状因子(一阶不变中心矩)的识别率为 60%~90%^[10]。2004 年 Kavdr 利用形状特征建立人工神经网络识别向日葵及其伴生杂草^[11]。2005 年 Sogaard 等对杂草两叶期的形状特征进行研究,提出通过叶片边缘标记点表示叶片形状的模板法,试验结果显示对杂草的识别率达到 65%~90%^[12]。2006 年刘洪臣等采用形态特征识别杂草和作物,开发出杂草识别的实时算法^[13]。2006 年李志臣等采用计盒维数的计算方法对 4 种双子叶杂草和两种单子叶杂草进行分析,研究结果显示不同种类杂草叶片的分形维数明显不同,可作为特征参数识别杂草^[14]。2007 年 Schuster 等在甜菜伴生杂草的识别中,使用形状特征区分单子叶杂草和双子叶杂草,识别率分别达到 75.0% 和 98.6%^[15]。2007 年龙满生等以长宽比、圆度、第一不变矩 3 种形状特征作为输入,采用 BP 网络识别出玉米幼苗和杂草,试验结果显示对玉米幼苗与杂草的识别率分别为 87.5% 和 93.0%^[16]。

对于形状特征的研究值得注意的是现有的形状特征多为描述单一叶片的特征,未考虑枝叶的交叉、植物非人为损坏、其他生物的附生、采集图像时环境的影响和植物自身的状态等因素,而这些因素在田间的普遍存在使得杂草图像中缺乏完整叶片,导致了识别率的大幅降低。另外,现有方法中所使用的识别参数缺乏一般性,分离背景带来的误差累积导致识别率不高也是形状特征研究处于实验室阶段的重要原因。

1.3 纹理特征 纹理特征是一个典型的 2.5 维特征,本质是相邻像素点在同一灰度矩阵中的灰度值之差,用这些差值矩阵表征叶片的纹理,从而进行识别。1995 年 Zhang 等对小麦和杂草进行 Fourier 分析,将细纹理叶子和其他叶子分开^[17]。1998 年 Meyer 等利用纹理图像识别土壤和杂草,青草和宽叶草间识别率为 85%~93%,而两种青草和宽叶草之间的识别率仅为 30%~70%^[18]。2005 年 Burks 等利用颜色共生矩阵在 HIS 颜色空间提取了 33 个纹理特征,比较分析了 3 种不同的神经网络分类器在实时杂草识别系统中的性能,结果表明 BP 分类器的效果最好,识别率达 97%^[19]。2006 年 Neto 等使用椭圆 Fourier 和判别式分析识别大豆伴生杂草,结果表明在大豆出苗期对大豆和杂草的平均识别率接近 90%^[20]。2007 年曹晶晶等以作物行中心为基准选取纹理块,计算量化级数为 8 级的 H 颜色空间的共生矩阵,提取 5 个纹理特征参数,利用 K 均值聚类法判别分析各块的类别识别行内杂草^[21]。

显然,由于颜色特征分离背景时误差的累积及植物自身生理上的差异,相对形状特征,纹理特征并不具备极大的优势。另一方面,高成本的计算代价和相应研究中试验条件缺乏一般性也限制了纹理特征的应用。在实时杂草识别系统中应用纹理特征还不成熟,如何快速提取纹理特征是利用纹理特征进行杂草识别的关键。

1.4 颜色、形状、纹理 3 类特征综合 除了分别使用颜色、形状、纹理特征外,一些学者还尝试将这 3 类特征综合使用,取得了一定的成果。2001 年 Hemning 等通过计算 8 种形态特征和 3 种颜色特征建立了一个联合特征空间,使用主动光

源识别田间杂草,在植物生长阶段取得了较好的效果^[22]。2005 年 Granitto 等建立了一个包括 236 种杂草、10 310 幅图像的杂草库,通过多种颜色、形状、纹理特征研究 Bayes 方法和神经网络对杂草的识别效果^[23]。但是这些研究只是简单的将特征综合,没有进行特征融合的选择和优化,识别精度和处理时间的矛盾比较突出,尚无法达到开发实用设备的要求。

2 杂草识别图像特征中的问题

杂草识别研究取得了许多进展,某些成果开始走向应用,但是离推广使用的要求尚有距离。改进杂草图像特征的提取是解决问题的重要手段,以下几个方面是图像特征进一步研究中值得注意的问题。

2.1 图像采集条件与图像特征的关系 在已有的研究中,环境条件和作物杂草品种各不相同,特征识别参数由试验数据统计而得。在进一步研究中,在不同环境条件下,针对不同作物杂草品种需要探讨图像采集条件差异与图像特征提取的关系,验证现有图像特征的有效性。通过对图像采集条件的研究,可引入新的检测手段得到光照强度等图像采集条件的信息,对采集条件进行分类,并据此分别采用不同的图像特征进行杂草识别,从而提高识别效果。

2.2 图像特征的开发、融合和优化 现有的图像特征主要是关注像素点之灰度值本身及像素点之间的关系,所研究的对象是离散的数据点及它们之间的线性关系,而实际上作物在图像空间中是连续的曲线、曲面。可考虑引入非线性的方法,将各个像素还原为连续曲线进行研究,从而提取出新的图像特征。另外在已有特征中,不同特征所反映的信息也不相同,融合这些特征是提高识别率的有效途径。在融合特征后,新的特征提取算法的处理时间将大幅增加,对这些特征进行选择、优化是保证算法时效性的重要步骤。

2.3 不同图像特征识别效果的评价 对杂草识别的最终目的是开发自动除草设备,而杂草的识别精度和算法的处理时间是实用设备的主要参数。因此,在不同试验条件下,对于不同品种的作物杂草,需要统一的标准评价不同图像特征的识别效果。但是在现有研究中使用的分割误差、识别率并不能准确反映相应的识别精度。如同样的分割精度,但分割误差分别出现在叶片中心和叶片边缘,提取叶片的周长信息时会出现完全不同的效果。对于处理时间的研究也缺乏统一的标准。因此建立统一标准评价分割效果是图像特征研究的一个重要方向。

3 小结

图像特征的研究是提高杂草识别率的关键,是最终实现杂草控制自动化、科学化的基础。对于研究中图像特征识别率偏低等现象,可以从图像采集条件,图像特征的开发、优化和融合,图像特征识别效果的评价等方面进行改进。

参考文献

- [1] WEBBECKE G M, MEYER G E, VONBARGEN K. Color indices for weed identification under various soil, residual, and lighting conditions[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(1): 259-269.
- [2] MEYER G E, NETO J C, JONES D D, et al. Intensified fuzzy clusters for classifying plant, soil and residue regions of interest from color images[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 42(3): 161-180.

称,如有凹凸需加以矫正。固定。将姿态初步整理好的标本固定到台板或树桩上。镶装义眼。选取与该种鸟类虹膜颜色相同,大小相当的义眼,镶入眼眶中。义眼规格见表2。

表2 各种鸟类标本义眼规格

Table 2 Scales of artificial eye of Aves

义眼直径 Diameter of arti- ficial eye mm	适用种类 Applicable species	义眼直径 Diameter of arti- ficial eye mm	适用种类 Applicable species
2 ~3	太阳鸟、家燕	15 ~16	白枕鹤
6	黄鹂、绿啄木鸟、竹鸡	19 ~20	金雕、斑嘴鹈鹕
9	环颈雉、白冠长尾雉	25 ~26	雕鸮
12	白鹳、长耳鸮		

义眼的镶装方法:将眼睑整理成圆形,滴点胶水,将义眼装入,用针拨眼眶遮住义眼边缘;鸟体涂抹防腐剂后,鸟皮肤复原前,在鸟的眼眶里填充黄胶泥,再将义眼直接镶入。

初步制作完成的标本要存放通风避阳处阴干,待标本干燥后,在 部、跗跖部、趾部等涂上薄薄的清漆。

鸟类标本经鉴定后挂牌、上展架。

3 小结

(1) 新材料、新技术在标本制作中的运用。动物的头骨

(上接第2614 页)

- [3] 毛文华, 王一鸣, 张小超, 等. 基于机器视觉的苗期杂草实时分割算法[J]. 农业机械学报, 2005, 36(1): 83- 86.
- [4] 周平, 汪亚明, 赵匀. 基于颜色分量运算与色域压缩的杂草实时检测方法[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1): 116- 119.
- [5] 胡波, 毛罕平, 张艳诚. 基于二维直方图的杂草图像分割算法[J]. 农业机械学报, 2007, 38(4): 199- 202.
- [6] 毛罕平, 胡波, 张艳诚, 等. 杂草识别中颜色特征和阈值分割算法的优化[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 154- 158.
- [7] TELLAECHÉ A, BURGOSARIIZZU X P, PAJARES G, et al. A new vision based approach to differential spraying in precision agriculture[M]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007: 1- 12.
- [8] G E C, BOSSUJ, JONES G, et al. Gop/ weed discrimination in perspective agronomic images[M]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007: 1- 11.
- [9] GUYER D E, MILES G E, SCHRIEBER M M, et al. Machine vision and image processing for plant identification[J]. Transactions of the ASSE, 1986, 29(6): 1500- 1507.
- [10] WOEBBECKE D M, MEYER G E, BARGEN K V, et al. Shape features for identifying young weeds using image analysis[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(1): 271- 281.
- [11] KAVDLR I. Discrimination of sunflower, weed and soil by artificial neural networks[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 44(2): 153- 160.
- [12] SOGAARD H T, HISEL T. Weed classification by active shape models[J]. Biosystems Engineering, 2005, 91(3): 271- 281.
- [13] 刘洪臣, 陈忠建, 冯勇. 结合颜色和形态特征的杂草实时识别方法[J]. 光电工程, 2006, 33(7): 96- 100.

在分类研究、进化研究上有重要价值,多需要单独保留,制作剥制标本时需要材料翻制头骨。近年来,尝试使用藻酸盐类作头骨铸模材料,义齿树脂和义齿基托树脂制作牙齿和腭、舌,能精确地表现复杂结构和细微差别,使动物神态栩栩如生。

(2) 死亡珍稀动物制作标本的处理。病死动物极易出现脱毛,通常是不宜再制成标本,但每件材料都来之不易,可采取粘补、遮掩等方法进行处理。姿态要根据材料而定,尽可能扬长避短。圈养、笼养动物大多有损伤,如鹰、隼等猛禽的尾羽、初级飞羽常有残损。天鹅、雁鸭、鹤、鹳等水禽的翅多从腕骨处折断。在标本制作中,甚至可以“移花接木”,同种个体之间拼接。对标本造型,不仅要考虑生态习性,而且要因材而异,或觅食、或梳羽、或仰天长啸、或葡地小憩。死亡动物体内外孳生大量病菌,冰冻处理省时、省力、无污染,可杀死大多数病原微生物,既有利于标本长期保存,也有利于制作者的健康。

参考文献

- [1] 郑光美. 鸟类学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1995: 110.
- [2] 唐子英. 脊椎动物标本制作[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1985.
- [3] 肖方. 野生动植物标本制作[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [4] 祝尧荣. 动物剥制标本制作技术[J]. 绍兴文理学院学报: 哲学社会科学版, 2000(6): 123- 124.
- [14] 李志臣, 姬长英. 基于图像分析的杂草分形维数计算[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 175- 178.
- [15] SCHUSIERI, NORDMEYER H, RATH T. Comparison of vision based and manual weed mapping in sugar beet[J]. Biosystems Engineering, 2007, 98(1): 17- 25.
- [16] 龙满生, 何东健. 玉米苗期杂草的计算机识别技术研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 139- 144.
- [17] ZHANG N, CHAISATTAPAGON C. Effective criteria for weed identification in wheat fields using machine vision[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(3): 965- 974.
- [18] MEYER G E, KOCHERT F, MORIENSEN D A, et al. Textural imaging and discriminant analysis for distinguishing weeds for spot spraying[J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(4): 1189- 1197.
- [19] BURKS T F, SHEARERS A, HEATH J R, et al. Evaluation of neural network classifiers for weed species discrimination[J]. Biosystems Engineering, 2005, 91(3): 293- 304.
- [20] NETO J C, MEYER G E, JONES D D, et al. Plant species identification using Elliptic Fourier leaf shape analysis[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2006, 50(2): 121- 134.
- [21] 曹晶晶, 王一鸣, 毛文华. 基于纹理和位置特征的麦田杂草识别方法[J]. 农业机械学报, 2007, 38(4): 107- 110.
- [22] HEMMING J, RATH T. Computer vision based weed identification under field conditions using controlled lighting[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 78(3): 233- 243.
- [23] GRANITTO P M, VERDES P F, CECCATO H A. Large scale investigation of weed seed identification by machine vision[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 47(1): 15- 24.