

# 基于颜色特征与多层同质性分割算法的麦田杂草识别<sup>\*</sup>

朱伟兴 金飞剑 谈蓉蓉

**【摘要】** 针对杂草与小麦叶子交叠的情况,提出了一种利用改进的多层同质性分割算法,并综合颜色与形态特征的杂草识别方法。在颜色空间 YIQ,选取  $I$  作为特征量并用改进的最大类间方差法分离植物与背景;在颜色空间 HSI,选取  $I$  的同质性和  $S$  作为特征量进行多层同质性分割分离小麦与杂草;最后结合形态学特征开闭运算滤波及二值逻辑与运算获得杂草图像;通过模拟化学除草系统,从理论上评价整个系统的除草效率。试验结果表明,杂草正确识别率达 92.6%,单幅图像除草剂的减少率在 35%~50%,小麦田的除草剂减少率超过 78.7%。

**关键词:** 杂草识别 形态学 颜色特征 同质性 与运算

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A

## Weed Recognition Method Based on Color Feature and Hierarchical Homogeneity Segmentation in Wheat Field

Zhu Weixing Jin Feijian Tan Rongrong  
(Jiangsu University)

### Abstract

Aiming at the severe occluding of leaves of weed and wheat, a weed identification method that applied to improved hierarchical approach to color image segmentation by using homogeneity and combines color and morphological features was presented. Color feature has been utilized to distinguish plants and background; using a method that took YIQ as color-space and  $I$  as characteristic variant and improved method of maximum classes square error as criterion; color feature has been utilized to distinguish wheat and weed; using a method that took HSI as color-space and homogeneity of  $I$  and  $S$  as characteristic variant separately and hierarchical homogeneity segmentation as criterion; ultimately morphological feature has been utilized to obtain weed; using a method that combined morphological opening and closing filter and AND operation algorithm. The proposed methods together with a chemical weeding system were simulated and the efficiency of the overall systems was evaluated theoretically. Experiments on a serial of weed images were conducted. The experimental results showed that the correct identification ratio exceeds 92.6%, the herbicide reduction rate of single image ranged from 35% to 50%, the herbicide reduction rate of the whole wheat field exceeded 78.7%.

**Key words** Weed recognition, Morphology, Color feature, Homogeneity, AND operation algorithm

### 引言

在基于机器视觉的杂草识别研究领域中,主要

有利用植物的位置、植物的特征(包括形状、颜色、纹理、光谱特征)以及三维图像来识别植物等多种方法<sup>[1]</sup>。基于颜色特征实现对杂草识别,必须选取合适

的颜色空间实现分割。常用的颜色空间有 RGB、YIQ、YCbCr、HSI、L\*a\*b\* 等<sup>[2]</sup>。EI-Faki 等人提出在颜色空间 RGB，将图像的 R、G、B 分量经过一些算术运算形成特征量，经统计学方法制定的分类器分类可以分离小麦和 3 种杂草，但对植物叶片交叠效果不佳<sup>[3]</sup>。刘洪臣等人提出在颜色空间 YCbCr 基于最大类间方差的遗传算法实现植物与背景分离，并结合形态学腐蚀、膨胀方法及差影法分离交叠的植物叶片，但只适合对狭长杂草与农作物的情况<sup>[4]</sup>。周平等人提出了一种基于颜色空间 RGB 的分量运算和色域位屏蔽压缩的杂草实时检测方法，适合识别有颜色差异的不同杂草或农作物<sup>[5]</sup>。

本文主要针对小麦与杂草叶片交叠的情况，提出了利用改进的多层同质性分割算法，基于多种颜色空间的转换，并结合颜色与形态特征实现对麦田杂草的识别。并对识别到的杂草区域，模拟了类似 Lee W S 等人<sup>[6]</sup>提出的化学除草系统，从理论上评价小麦田的除草效率。

## 1 确定杂草区域

### 1.1 分离植物与背景

小麦田中植物呈现绿色，与土壤背景颜色有明显的差异，见图 1(图像大小为 640×480 像素)。选取合适的颜色空间可以有效分离。由于颜色空间 YIQ 是线性变换空间，因此计算量小，能够有效地用于彩色图像处理。文中通过分析采用颜色空间 YIQ，Y 分量表示图像的亮度信息，I、Q 2 个分量则携带颜色信息，I 分量表示从桔黄色到蓝绿色的颜色变化，Q 分量表示从紫色到黄绿色的颜色变化。从颜色空间 RGB 到颜色空间 YIQ 的转换<sup>[7]</sup>为

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

从图 2 的 I 分量直方图看，呈现出较好的双峰性，其中峰值较低的区域对应植物，峰值较高的区域对应背景。I 分量颜色变化与植物颜色具有较大的相关性，因此，本文选用 I 作为特征量。



图 1 麦田杂草图像  
Fig. 1 Weed image of wheat field

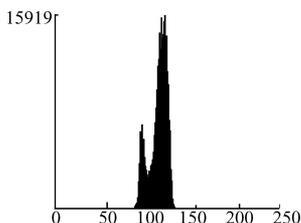


图 2 I 分量直方图  
Fig. 2 Histogram of I

通过对图像颜色空间 RGB 线性变换，提取 I 分量值，获得灰度图像；紧接着进行阈值化，本文通过分析比较选用杜奇等人提出的一种改进的最大类间方差法(Ostu 法)<sup>[8]</sup>，该算法利用图像自身信息选取最佳阈值，分割后植物边缘清晰，运算速度快。图 3 为阈值化处理图像，由图可知图像中黑色区域有些白点，白色区域有细小的黑洞；对其他杂草图像处理后发现有些桥连的白色直线，表明图像噪声比较严重。通过分析，对得到 I 分量的灰度图像选用 3×3 均值滤波器<sup>[9]</sup>作去噪声处理，然后阈值化，结果如图 4 所示。发现去噪声后阈值化速度明显加快，且图像清晰，对后续处理有利。



图 3 二值图像(含噪声)  
Fig. 3 Binary image (before noise removal)



图 4 二值图像(去噪声)  
Fig. 4 Binary image (after noise removal)

### 1.2 分离小麦与杂草

随机截取图像 1 中一块小麦、杂草、土壤的局部区域(区域大小 10×15 像素)，对该局部区域统计分析几种常用的颜色空间 3 种分量值发现，颜色空间 L\*a\*b\*、YCbCr 等的小麦与杂草各分量值区分不是很明显，颜色空间 RGB 中各分量值区分比较大，但易受光照的影响导致分量值差异的不确定性。颜色空间 HSI 中小麦与杂草分量 I 的差异比较大，但是土壤的分量 I 跨度比较大，单纯利用 I 分量直方图直接分割出杂草效果不佳。本文改进了 Cheng 等人<sup>[10]</sup>提出的一种分层的同质性彩色图像分割算法分离小麦与杂草。

该算法将同质性值定义为分量 I 的标准偏差  $V_{ij}$ (像素邻域内的亮度标准偏差)和标准突变  $e_{ij}$ (像素邻域内亮度 Sobel 算子的标准梯度模)2 个变量的函数，函数计算为

$$V_{ij} = \sqrt{\frac{1}{d^2} \sum_{i-(d-1)/2}^{i+(d-1)/2} \sum_{j-(d-1)/2}^{j+(d-1)/2} (g_{pq} - u_{ij})^2} \quad (2)$$

$$e_{ij} = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (3)$$

其中  $u_{ij} = \frac{1}{d^2} \sum_{i-(d-1)/2}^{i+(d-1)/2} \sum_{j-(d-1)/2}^{j+(d-1)/2} g_{pq}$   
 $p = i - (d-1)/2 \quad q = j - (d-1)/2$   
 式中  $g_{ij}$ ——像素点  $p_{ij}$  在位置点  $(i, j)$  的亮度分量 I 值

$u_{ij}$ ——像素点  $p_{ij}$  亮度分量  $I$  的平均灰度值

$G_x, G_y$ ——像素点  $p_{ij}$  在  $X, Y$  方向梯度分量

首先计算大小  $M \times N$  (本文为  $640 \times 480$ ) 图像的各个像素点  $I$  分量的同质性量  $H(g_{ij}, \omega_{ij}^{(1)}, \omega_{ij}^{(2)})$ , 计算公式为

$$H(g_{ij}, \omega_{ij}^{(1)}, \omega_{ij}^{(2)}) = 1 - E(g_{ij}, \omega_{ij}^{(2)})V(g_{ij}, \omega_{ij}^{(1)}) \quad (4)$$

其中  $V(g_{ij}, \omega_{ij}^{(1)}) = \frac{V_{ij}}{V_{\max}}$  ( $V_{\max} = \max\{V_{ij}\}$ )

$$E(g_{ij}, \omega_{ij}^{(2)}) = \frac{e_{ij}}{e_{\max}} \quad (e_{\max} = \max\{e_{ij}\})$$

式中  $\omega_{ij}^{(1)}$ ——以  $(i, j)$  为中心  $d \times d$  结构窗口 ( $d$  大于 1 奇整数, 选  $d=5$ ) 用于评价偏差

$\omega_{ij}^{(2)}$ ——以  $(i, j)$  为中心  $t \times t$  结构窗口 ( $t$  大于 1 奇整数, 选  $t=3$ ) 用于评价突变

然后统计具有相同分量  $I$  的像素点同质性值, 得到关于强度分量  $I$  的同质性直方图。对同质性直方图寻找峰值点, 即极大值点, 得到所有毗邻峰值之间的最小值即是谷, 利用各个谷点来划分, 得到同质性的子区域。

对于同质性初步分割获得的每个子区域, 选取颜色空间 HSI 的分量  $S$  作为特征量进一步进行分层分割。但是颜色空间 HSI 是由颜色空间 RGB 转换的非线性空间, 存在奇异点, 引起奇异点附近不稳定。通过分析, 计算奇异像素点附近八邻域的所有像素点  $S$  分量的平均值来定义该像素点的  $S$  分量值。如果八邻域中有奇异点, 则取该奇异点的  $S$  分量平均值为该点  $S$  分量值。假设奇异像素点恰巧是在边缘附近, 至少该点的一半邻域与它在同样的区域, 所以取平均值是合理的。重新定义点  $S$  分量值并重新归入各个子区域, 然后分别统计每个子区域像素点的饱和度分量值  $S$ , 得到各个子区域的分量  $S$  直方图; 同样对分量  $S$  直方图寻找峰值点, 得到直方图上各个谷点, 对子区域进行重新划分, 在各子区域上细分出更小的小子区域。

得到细分的小子区域可能具有相同颜色和同质性而造成过度分割, 因此必须合并这些小子区域。经分析选用颜色空间  $L^* a^* b^*$ , 可从颜色空间 RGB 向颜色空间  $L^* a^* b^*$  转换<sup>[11]</sup>, 其中颜色公差对近似的颜色比较敏感, 可以非常方便测量一些小的颜色差别。假设有  $k$  块小子区域, 计算两两小子区域之间的颜色公差  $\Delta E$  为

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (5)$$

式中  $L_1, a_1, b_1, L_2, a_2, b_2$ ——两个小子区域的颜色描述

那么有  $k(k-1)/2$  种颜色差异产生。计算所有

这些颜色差异的标准偏差  $u_v$  为

$$u_v = \sqrt{\frac{1}{k(k-1)/2} \sum_{i=1}^{k(k-1)/2} (u_i - u_d)^2} \quad (6)$$

式中  $u_i$ ——第  $i$  种颜色差异

$u_d$ ——颜色差异的平均值

当 2 个小子区域颜色差异小于阈值  $T_d$

$$T_d = u_d - u_v \quad (7)$$

则合并两小子区域, 得到最终分割图像, 见图 5。

图 5 所示图像灰度值变化大, 杂草与小麦颜色区分明显, 本文提出一种改进的最大类间方差法。首先统计整幅图像的  $N$  种灰度值, 然后对  $N$  种灰度值取平均作为初始阈值  $S_0$ 。初步分割确定目标区域; 图中目标区域的灰度值高于初始阈值  $S_0$ , 因此对目标区域的灰度值取平均作为阈值上限  $S_1$ ; 在  $[S_0, S_1]$  范围内运用最大类间方差法取得最优阈值, 对图 5 图像进行阈值化, 得到分离小麦的杂草二值图像, 结果如图 6 所示。



图 5 分割后的灰度图像  
Fig. 5 Gray image after segmentation



图 6 杂草二值图像  
Fig. 6 Binary image of weed

### 1.3 基于形态学特征确定杂草区域

对比图 1 可以发现, 图 6 的图像白色区域大部分是土壤背景, 而且连通的土壤白色区域面积比较大, 直接通过形态学腐蚀膨胀方法获取杂草区域, 其效果不佳且部分属于小区域的杂草将无法有效识别。文中通过对图 4 和图 6 作与运算, 得到杂草区域, 结果如图 7 所示。

图 7 留有一些毛刺和小块区域, 绝大部分不是杂草区域, 经过分析比较, 选用  $5 \times 5$  的正方形结构元素对图 7 进行形态学的开运算 (对图像先腐蚀, 然后膨胀)<sup>[9]</sup>, 有效去除绝大部分的毛刺, 然后紧接着检测图像的连通区域并作标识, 对于面积小于阈值  $T_{H1}$  的白色连通区域将被黑色像素点取代。通过试验分析, 选取  $T_{H1}$  为 50 个像素点, 结果如图 8 所示。

## 2 试验

在 PIII 800 MHz、WindowsXP 操作系统、VisualC++6.0 等环境下, 分别进行 2 种模拟试验。第 1 种试验测试杂草识别方法的准确性。试验结果表明该算法不能表明除草剂的减少量。第 2 种试验

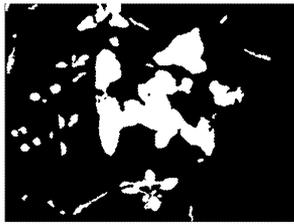
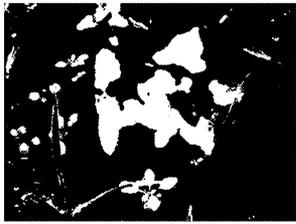


图 7 与运算后的图像  
Fig. 7 Image after AND  
operation algorithm

图 8 得到的杂草图像  
Fig. 8 Binary image  
after weed recognition

通过模拟化学除草系统,从理论上评价系统的除草效率。随机摄取同一天在同一块小麦田的一系列图像,选取 5 幅含有杂草的图像(像素为  $640 \times 480$ ),依照文中杂草识别算法得到杂草图像,然后分别做上述 2 种试验。

为了统计大片小麦田的除草剂减少量,多次随机选取一块麦田的连续摄取 5 幅图像(像素为  $640 \times 480$ ),以 5 幅图像实际覆盖区域为基准区域,做第 2 种试验,估计整块麦田的除草剂减少率。

### 2.1 杂草正确和错误识别率

对图 1 和图 8 划分成网格状,总共为  $16 \times 40$  块网格区域。通过人工统计划分后两图像中小麦与杂草所占的网格区域的方式,分析比较图 1 与图 8 中图像的小麦和杂草的网格区域数量。当该网格区域中杂草像素点多于小麦像素点,且杂草像素点超过该网格区域的像素点数量的 9% 时,则认为是杂草网格区域。为了评价杂草识别方法的准确性,给出了杂草正确识别率  $C_{WDR}$  和错误识别率  $F_{WDR}$  作为评价指标为

$$C_{WDR} = \frac{S_{CDW}}{S_w} \times 100\% \quad (8)$$

$$F_{WDR} = \frac{S_{FDW}}{S_{FW}} \times 100\% \quad (9)$$

式中  $S_{CDW}$ ——图 8 识别到的杂草网格区域数量  
 $S_w$ ——图 1 真实的杂草网格区域数量  
 $S_{FDW}$ ——图 8 错误识别到的杂草网格区域数量(与图 1 比较非杂草像素点检测为杂草像素点)  
 $S_{FW}$ ——图 1 非真实的杂草网格区域数量

### 2.2 模拟的化学除草系统

根据 Ukrit Watchareeruetai 等人<sup>[12]</sup>提出把图像分成  $16 \times 40$  小块区域,如此使每一个小块区域实际覆盖约  $128 \text{ mm} \times 68.5 \text{ mm}$  的草坪区域的可行性方案,针对图 8 识别的杂草图像(实际覆盖区域约  $600 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ ),分成  $4 \times 10$  块小块区域(小块区域尺寸为像素点  $120 \times 64$ );而每一行包含 4 个小块区域分别对应于喷嘴的号码,仅对满足喷洒条件

的小块区域,才打开喷嘴喷洒除草剂。因此在这种情况下,需要 4 个喷嘴,并对模拟除草系统定义喷嘴喷洒除草剂的条件:①每块小块区域包含杂草像素点超过该小块区域像素点 5% 时被假定为杂草小块区域,则打开喷嘴对该区域喷洒除草剂。②如果连通区域超过 30% 部分喷洒过除草剂被假定该连通区域所有杂草被消灭。③除草剂是有选择的,只对杂草起作用,不损害小麦作物。

为评价该模拟的化学除草系统,选取除草率  $K_{WR}$  和除草剂减少率  $H_{RR}$  作为评价指标为

$$K_{WR} = \frac{P_K}{P_w} \times 100\% \quad (10)$$

$$H_{RR} = \left(1 - \frac{P_S}{P_N}\right) \times 100\% \quad (11)$$

式中  $P_K$ ——杂草被消灭的连通区域数量

$P_w$ ——总的连通区域数量

$P_S$ ——喷洒小块区域数量

$P_N$ ——小块区域的总数量(定值  $P_N = 40$ )

喷洒结果如图 9 所示,图中的小块区域上面打“×”表示满足喷洒条件的区域。

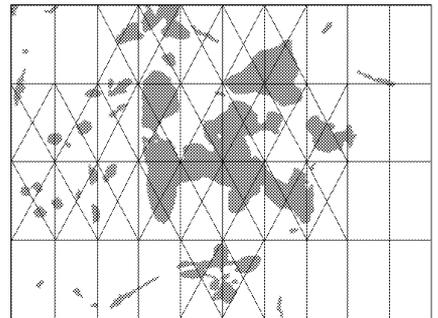


图 9 模拟分析的结果图像

Fig. 9 Result image of simulative analysis

### 2.3 试验结果

根据上述 2 种试验方法,对 5 幅杂草图像获得的模拟试验结果数据如表 1 所示。

表 1 模拟试验结果数据

Tab. 1 Data of simulative experimental result %

序号	$C_{WDR}$	$F_{WDR}$	$K_{WR}$	$H_{RR}$
1	96.3	4.8	73	43
2	94.2	2.6	95	50
3	93.4	2.1	100	45
4	92.6	1.6	94	35
5	94.6	3.2	86	50

从表 1 可以看出,第 1 种试验的杂草正确识别率为 92.6%~96.3%。影响杂草正确识别率的主要因素是一些小杂草没有得到有效分割且分割后由于区域太小而被忽略。杂草错误识别率为 1.6%~

4.8%, 相对较高的原因主要是由于小麦叶片有正反面, 导致颜色有差异且有的叶片背面朝上颜色呈现乳白色, 造成错误识别。杂草识别的实时性问题, 可采用小麦分割和植物分割同时处理来大大减少处理时间, 以满足 25 帧/s 的实时性要求。从图 9 可以看出, 第 2 种试验大部分的杂草都已经被消灭。小麦与杂草交叠部分虽然未喷洒除草剂, 但是, 未遮挡的单株杂草喷洒除草剂的数量已超过了单株杂草面积的 30%, 认为能消灭该杂草。单幅含有杂草的图像除草剂减少率在 35%~50%, 从而减少了除草剂的使用量。

对于连续摄取的 5 幅图像(实际覆盖区域约为 2.4 m<sup>2</sup>), 能估计整块麦田的杂草情况。通过多次统计 5 幅图像的未喷洒的小块区域总数量除以总共的

全部小块区域数量来计算除草剂的减少率, 得出除草剂的减少率在 78.7%~92%, 可以看出大大减少了整块麦田的除草剂使用量。

### 3 结束语

提出的基于颜色与形态特征, 利用多层同质性分割算法的识别方法, 对于小麦与杂草交叠的情况, 实现了对杂草的有效识别。试验研究表明, 杂草正确识别率超过 92.6%, 能满足 25 帧/s 的识别速度要求; 而且模拟化学除草系统, 单幅含有杂草的图像除草剂减少率超过 35%, 大片小麦田的除草剂减少率为 78.7%~92%, 大大减少了除草剂的喷洒量, 表明该方法运用到小麦田的自动化学除草系统中是可行的。

### 参 考 文 献

- 1 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.
- 2 林开颜, 吴军辉, 徐立鸿. 彩色图像分割方法综述[J]. 中国图像图形学报, 2005, 10(1): 1~10.
- 3 El-Faki M S, Zhang N, Peterson D E. Factors affecting color based weed detection[J]. Transactions of the ASAE, 2000, 43(4): 1 001~1 009.
- 4 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.
- 5 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.
- 6 Lee W S, Slaughter D C, Giles D K. Robotic weed control system for tomatoes[J]. Precision Agriculture, 1999, 1(1): 95~113.
- 7 姚鸿勋, 刘明宝, 高文, 等. 基于彩色图像的色系坐标变换的面部定位与跟踪法[J]. 计算机学报, 2000, 23(2): 158~165.
- 8 杜奇, 向健勇, 袁胜春. 一种改进的最大类间方差法[J]. 红外技术, 2003, 25(5): 33~36.
- 9 Rafael C G, Richard E W. Digital image processing[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2001.
- 10 Cheng H D, Sun Y. A hierarchical approach to color image segmentation using homogeneity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(12): 2 071~2 082.
- 11 赵金英, 张铁中, 杨丽. 西红柿采摘机器人视觉系统的目标提取[J]. 农业机械学报, 2006, 37(10): 200~203.
- 12 Ukrit Watchareeruetai, Yoshinori Takeuchi, Tetsuya Matsumoto. Computer vision based methods for detecting weeds in lawns[C]. IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, 2006: 1~6.

(上接第 99 页)

- 4 上村 賢治. カリフォルニア送風防霜法[J]. 农业气象, 1976, 32(3): 155~159.
- 5 横山 俊祐ほか. 送風法による茶の冻霜害防止技术[R]//农林水产技术会议事務局. 送風法による茶園の冻霜害防止技术, 实用化技术レポート, 1978, 63: 5~33.
- 6 Furuta Mikio, Araki Shinsuke. Frost protection apparatus using high frost protection fan having multiple head (multi-head system; several sets) and frost protection method using the same; JP, JP2006109804[P]. 2006-04-27.
- 7 Furuta Mikio. Automatically foldable extensible frost protection fan apparatus; JP, JP2007089514[P]. 2007-04-12.