

基于二维直方图的杂草图像分割算法*

胡波 毛罕平 张艳诚

【摘要】 通过引入像素灰度级和邻域灰度级构成的二维直方图,提出了一种杂草彩色图像分割算法。试验结果表明,基于二维直方图的分割算法由于增加了各个像素点相邻区域的信息,从而减少了自然条件下镜面反射和叶片小面积污损的影响。由于分割结果更好地保留了叶片的连通性,新的分割算法能在自然条件下更好地区分单子叶植物和双子叶植物及识别作物和杂草,从而有助于杂草识别率的提高。

关键词: 杂草 图像处理 直方图 分割

中图分类号: S126;TP391.4

文献标识码: A

引言

随着杂草危害的日益突出和环境要求的提高,利用机器视觉识别杂草,实现杂草控制的自动化已成为现代农业的一个发展方向。其中,将作物和杂草等植被区域从数字图像中分割出来是最基础的操作。由于图像分割中目标区域多为绿色植物,颜色成为主要的分割特征并广泛应用于实践中^[1~3]。但是在自然条件下图像的颜色会出现失真的情况,如由于露水、拍摄角度等原因易出现的镜面反射,在图像上表现为白色斑点;由于非人为原因小面积的污损使图像出现黑点等等。原有的分割算法未考虑相邻区域内像素点颜色的取值,因此自然条件下颜色失真的问题极大地影响了分割效果。为增加相邻区域像素点的信息以改善分割效果,本文引入基于像素灰度级和邻域像素灰度级的二维直方图提出新的分割方法。

1 杂草图像二维直方图

二维直方图是以图像阈值为基础的。1993年刘建庄等通过二维直方图将Otsu图像阈值法推广到二维,对灰度图像进行分割取得了较好的效果^[4]。阈值的方法直观且易于实现,是图像分割中主要的分割方法。以 $f(x,y)$ 表示像素点 (x,y) 的灰度级,阈值法分割处理后的图像 $g(x,y)$ 为

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & (f(x,y) \geq T) \\ 0 & (f(x,y) < T) \end{cases} \quad (1)$$

其中标记为1的像素集合为目标区域,而标记为0

的像素集合为背景。 T 表示分割阈值,为一特定灰度级,通常通过一维直方图得到。一维直方图 $t(\omega_i)$ 表示为

$$t(\omega_i) = n_i \quad (2)$$

式中 ω_i ——第 i 个灰度级

n_i ——图像中灰度级为 ω_i 的像素个数

对于彩色图像,一般将各个像素点的颜色转化为一定的灰度级后作为灰度图像进行分割。这一转化过程是通过各种颜色模型中的颜色特征完成的。在数字图像处理中,最通用的面向硬件的颜色模型是RGB(红、绿、蓝)模型。在RGB图像中,每一个RGB彩色像素由 R 、 G 、 B 3个值表示,通过3个值的不同组合得到不同的颜色。本文选择Woebbecke等提出的超绿特征^[1]在RGB颜色空间内将彩色图像转化为灰度图像。超绿特征表示为

$$2g - r - b$$

$$\text{其中} \quad r = \frac{R}{R+G+B} \quad g = \frac{G}{R+G+B} \\ b = \frac{B}{R+G+B}$$

这样,像素点 (x,y) 中的 $R(x,y)$ 、 $G(x,y)$ 、 $B(x,y)$ 3个颜色值转化为一个对应的灰度级。假设像素灰度分为 L 级,像素点对应的灰度级 $l(x,y)$ 为

$$l(x,y) = \frac{[2g(x,y) - r(x,y) - b(x,y) + 1]L}{3}$$

$$\text{即} \quad l(x,y) = \frac{G(x,y)L}{R(x,y) + G(x,y) + B(x,y)} \quad (3)$$

转化后的彩色图像的灰度为 L 级,由此可以得到一维直方图。由于所有像素点的灰度为 L 级,所

收稿日期: 2005-09-20

* 江苏省高校自然科学重大基础研究项目(项目编号:05KJA21018)

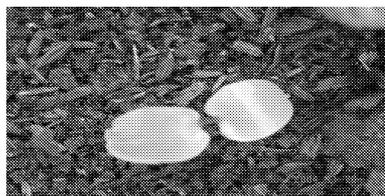
胡波 江苏大学江苏省现代农业装备与技术重点实验室 硕士生, 212013 镇江市

毛罕平 江苏大学江苏省现代农业装备与技术重点实验室 教授 博士生导师 通讯作者

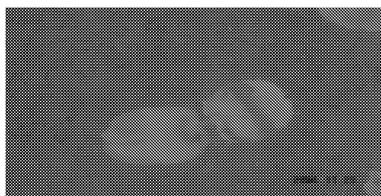
张艳诚 云南农业大学工程技术学院 讲师 博士生(江苏大学), 650201 昆明市

以各个像素点邻域内像素点的灰度也是 L 级。通常通过计算像素点邻域内所有像素点灰度平均值并取整得到一个邻域灰度级,并以此为基础建立二维直方图。但是杂草识别中由于绿色植物与背景交错,邻域内存在不同类像素点的现象较多,容易因此影响边界像素点的分类。为降低这类干扰,加入邻域内像素点到目标像素点的距离作为权重,由此得到邻域灰度级 $o(x,y)$ 为

$$o(x,y) = \text{INT} \left[\frac{\sum_{i=-\frac{p-1}{2}}^{\frac{p-1}{2}} \sum_{j=-\frac{q-1}{2}}^{\frac{q-1}{2}} l(x+i,y+j) \sqrt{i^2+j^2}}{\sum_{i=-\frac{p-1}{2}}^{\frac{p-1}{2}} \sum_{j=-\frac{q-1}{2}}^{\frac{q-1}{2}} \sqrt{i^2+j^2}} \right] \quad (4)$$



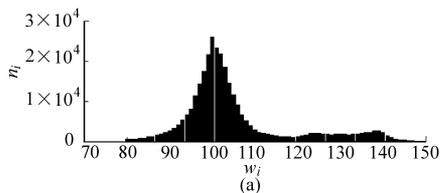
(a)



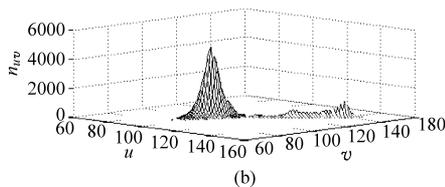
(b)

图1 杂草图像

(a) 彩色图像 (b) 灰度图像



(a)



(b)

图2 直方图

(a) 一维直方图 (b) 二维直方图

数目最多也不足 6 000。显然,一维直方图中像素点的分布较二维直方图集中。若绿色植物和背景的像素点在自然条件下由于失真而灰度级相同,依据一维直方图进行分割就会出现错误,而依据二维直方图进行分割仍可能因为两类像素点的邻域灰度级不同而区分开。

2 分割算法

在一维直方图中确定阈值是在灰度坐标上确定一个区分点,而二维直方图的阈值则将灰度坐标和邻域灰度坐标构成的平面分割为两个区域。在杂草图像中,主要的拍摄对象是绿色植物和土壤(基质)。提取超绿特征转化后的灰度级多集中于特定的范围,可以认为灰度级小于 T 且邻域灰度级小于 S 的

式中 q,p ——邻域的尺寸

i,j ——邻域内像素点的横坐标和纵坐标

由此形成一个二元组:像素点的灰度级 $l(x,y)$ 和邻域灰度级 $o(x,y)$ 。与建立一维直方图类似,统计灰度级为 u 邻域灰度级为 v 的像素点的个数 n_{uv} ,从而得到二维直方图 $k(u,v)$ 为

$$k(u,v) = n_{uv} \quad (5)$$

图 1a 是自然条件下采集的杂草彩色图像,图像为 480×640 的 RGB 彩色图像。图 1b 是超绿特征转化后的灰度图像。图 2 是通过式(2)和式(4)得到的一维直方图和邻域为 11×11 的二维直方图。

比较图 2 两个直方图的峰值得:一维直方图灰度级相同的像素点的多数目超过 20 000;而在二维直方图中灰度级和邻域灰度级都相同的像素点的

像素点为背景。这样式(1)在二维直方图的分割中变化为

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{(其他)} \\ 0 & (l(x,y) < T \text{ 且 } o(x,y) < S) \end{cases} \quad (6)$$

式中 T,S ——二维直方图的分割阈值

通过一维直方图确定阈值中常使用最优阈值法(optimal thresholding)。该法得到的阈值是目标和背景灰度均值的中点,可表示为^[5]

$$T = \frac{\sum_{i=1}^T (in_i)}{\sum_{i=1}^T n_i} = \frac{\sum_{i=T+1}^L (in_i)}{\sum_{i=T+1}^L n_i} - T \quad (7)$$

类似的可以得到二维直方图中阈值 T 和 S 组成的点 (T,S) 是目标和背景灰度均值的中点,可表示为

$$\left\{ \begin{aligned} T - \frac{\sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^S (in_{ij})}{\sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^S n_{ij}} &= \frac{\sum_{i=1}^T \sum_{j=S+1}^L (in_{ij}) + \sum_{i=T+1}^L \sum_{j=1}^L (in_{ij})}{\sum_{i=1}^T \sum_{j=S+1}^L n_{ij} + \sum_{i=T+1}^L \sum_{j=1}^L n_{ij}} - T \\ S - \frac{\sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^S (jn_{ij})}{\sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^S n_{ij}} &= \frac{\sum_{i=1}^T \sum_{j=S+1}^L (jn_{ij}) + \sum_{i=T+1}^L \sum_{j=1}^L (jn_{ij})}{\sum_{i=1}^T \sum_{j=S+1}^L n_{ij} + \sum_{i=T+1}^L \sum_{j=1}^L n_{ij}} - S \end{aligned} \right. \quad (8)$$

这样可以得到利用二维直方图的分割算法：

①图像预处理(滤波等)。②根据式(3)将图像转化为灰度图像,并建立二维直方图。③根据式(8)确定阈值 T 、 S 。④根据式(6)分割图像。

3 试验结果讨论

3.1 试验结果

用以上算法和一维直方图的最优阈值法对图1a进行分割。为方便比较,设定一维直方图分割



图3 一维直方图不同滤波器尺寸的分割结果

(a) 3×3 (b) 7×7 (c) 11×11 (d) 15×15



图4 二维直方图不同邻域尺寸的分割结果

(a) 3×3 (b) 7×7 (c) 11×11 (d) 15×15

3.2 讨论

二维直方图通过加入像素点邻域内像素的信息可提高分割效果,而邻域的尺寸会直接影响分割的效果。邻域尺寸过小,邻域灰度级无法完全反映周边信息而导致修补不足,如图4a;邻域尺寸过大,邻域灰度级涉及过多周边信息而导致过度修补,如图4d。显然,合适的邻域尺寸与目标区域在图像中的尺寸有关,即与绿色植物在图像中像素点的数量有关。根据大量试验结果得,若邻域为正方形,比较合适的邻域尺寸为目标区域像素点数目 $0.25\% \sim 0.6\%$ 。在 480×640 的原始图像图1a中目标区域像素约占 10% ,所以邻域的大小在100到150个像素点间较合适,图4试验结果中也以 11×11 的邻域分割效果较好。

使用模板滤波,模板的尺寸等于建立二维直方图时像素点邻域的尺寸,模板内各点的系数为该点到模板中心的距离。这样一维直方图得到的分割结果也会随着滤波器尺寸而改变。分别尝试了 3×3 、 7×7 、 11×11 和 15×15 的4个尺寸。一维直方图由式(7)确定的阈值为115,分割效果如图3所示。二维直方图由式(8)得到的阈值分别为: $T=115, S=114$; $T=115, S=114$; $T=114, S=113$; $T=114, S=112$ 。分割效果如图4所示。

图1a的杂草图像是2004年11月20日13点14分在江苏镇江自然条件下采集的,当时天气晴朗。由于太阳光反射的原因,在左右两片叶片均出现明显的镜面反射,即图像中叶片上的白斑。在自然条件下采集图像,这样的情况是很普遍的。与一维直方图的分割结果相比,二维直方图进行分割可较好地保持右边叶片的连通性,对左边叶片的修复效果也较优。

在杂草识别中,许多双子叶作物的伴生杂草是单子叶植物,另一方面喷洒除草剂时 also 需根据单子叶杂草和双子叶杂草分别使用不同的除草剂,因此区分单子叶植物和双子叶植物是不可缺少的识别步骤,而叶片的连通性是主要识别依据。此外,各种形状特征是区分杂草和作物的重要参数,而由于白斑破坏叶片图像的连通性,许多形状参数值出现误差。如图3所示分割结果右边的叶片被割成两部分,白斑右边的部分像素点在识别中很可能被误认为单子叶植物的叶片。白斑左边的部分即使被作为双子叶植物的叶片,其周长、面积、圆度等主要用于杂草识别的形状特征值的误差都较大。显然,使用图4c所示分割结果可更好地保留了叶片的连通性。因此,基于二维直方图的分割算法在自然条件下能更好地区

分单子叶植物与双子叶植物及识别作物和杂草,从而有助于提高杂草识别率。

4 结论

(1) 针对在自然条件下图像的颜色出现失真影响分割效果的情况,提出了基于像素灰度级和邻域灰度级的二维直方图分割算法。考虑到绿色植物与背景交错,邻域内存在不同类像素点,为降低干扰,加入邻域内像素点到目标像素点的距离作为权重,

得到邻域灰度级,并给出了基于最优阈值法的二维直方图分割算法。

(2) 在自然条件下,由于露水、拍摄角度等原因容易造成镜面反射,叶片也容易因为非人为原因小面积的污损。二维直方图由于引入邻域的信息,在解决镜面反射和叶片污损方面明显优于一维直方图,分割结果较好地保留了叶片的连通性,从而有助于提高杂草识别率。

参 考 文 献

- 1 Woebbecke D M, Meyer G E, Bargen K Von. Color indices for weed identification under various soil, residual, and lighting conditions[J]. Transactions of the ASAE,1995,38(1):259~269.
- 2 Aitkenhead M J, Dalgetty I A, Mullins C E, et al. Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2003,39(3):157~171.
- 3 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.
- 4 刘健庄,贾文青. 灰度图像的二维 Otsu 自动阈值分割法[J]. 自动化学报,1993,19(1):101~105.
- 5 Gonzalez R C, Wodds R E. Digital image processing[M]. 英文 2 版. 北京:电子工业出版社,2002.
- 6 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.

(上接第 190 页)

- 5 Zheng Quan, Krishnaswamy Srinivasan. Transmission shift controller design based on a dynamic model of transmission response[J]. Control Engineering Practice, 1999,7(8):1 007~1 014.
- 6 席军强. ASCS 与 AMT 的历史现状及其在中国的发展趋势[J]. 汽车工程,2002,24(2):89~93.
- 7 雷雨龙,李永年,葛安林,等. 机械式自动变速器换挡综合智能控制[J]. 汽车工程,2001,23(5):311~314.
- 8 周学健,付主木,张文春,等. 车辆自动变速器换挡规律的研究现状与展望[J]. 农业机械学报,2003,34(3):139~144.
- 9 杨为民,贾鸿社. 电控机械式自动变速箱在拖拉机上的应用探讨[J]. 拖拉机与农用运输车,2001(4):23~24.
- 10 高爱云,付主木,张文春. 拖拉机电控机械式自动变速器模糊换挡策略[J]. 农业机械学报,2006,37(11):1~4.
- 11 高爱云,付主木,张文春. 拖拉机 AMT 换挡规律求解方法研究[J]. 农业机械学报,2005,36(3):12~14.