排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2014 年 4 月 Apr. 2014 | 第 32 卷 第 4 期 Vol. 32 No. 4
doi:10.3969/j.issn.1674-8530.13.0006

基于 ComVI 和双阈值 OTSU 算法的农作物图像识别


龚立雄

龚立雄
(重庆理工大学机械工程学院,重庆 400054)

摘要:针对农作物图像中依附泥土和杂质噪声呈现不规则性和复杂性特点,提出了一种基于植被指标合成双阈值 OTSU 算法的农田作物图像识别方法.该方法根据农作物充分显露和部分被遮盖 2 类图片特点,将图像识别过程分为 3 个阶段:首先利用植被指标合成获取农作物图像灰度图,然后根据双阈值 OTSU 自适应算法进行二值化处理与图像分割,再进行正常的形态学运算,将 3 个阶段所分割的图像叠加形成最终的农作物与土壤识别图像,并将该算法与双阈值迭代设定法进行了对比.试验研究表明该算法克服了传统灰度图算法和阈值迭代算法的缺点,能有效提取和识别过渡区域的边缘,图像识别的准确率为 92.7% 以上.最后,采用 Visual Basic 2010 和 Matlab 2012 软件设计了农作物图像识别系统,从应用角度实现了图像识别的可视化与自动化.

关键词:农作物图形识别;植被指标合成;双阈值;灰度图;图像处理
中图分类号:S126;TP391.41 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-8530(2014)04-0363-06
龚立雄.基于 ComVI 和双阈值 OTSU 算法的农作物图像识别[J].排灌机械工程学报,2014,32(4):363-368.

Crop image recognition based on ComVI and double threshold OTSU algorithm

Gong Lixiong
(School of Mechanical Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

Abstract: A new recognition method of crop image with soil and other noise was proposed, which was used by combined vegetative indices(ComVI) and double threshold OTSU algorithm. The method has three stages of image processing according to unmasked and masked crops image characters. Firstly, the gray-scale image was adopted with combined vegetative indices, then the binaryzation and image segmentation were processed by way of double threshold OTSU adaptive method, and finally, post-treatment to the segmented binary images by morphology operation was also implemented. Therefore, crops and coil were recognized by superimposing the segmentation image in the three stages. Experimental results shows that it is a high performance algorithm which can overcome drawbacks of traditional gray-scale image and threshold iterative method, and can effectively extract and recognize transitional edge image. The image recognition accuracy is more than 92.7%. Finally, crop image recognition system was designed to achieve the image recognition of the visualization and automation by Visual Basic 2010 and Matlab 2012 software.

收稿日期:2013-01-03;**网络出版时间**:2014-04-09
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3969/j.issn.1674-8530.13.0006.html
基金项目:重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2013jcyjA60002);重庆理工大学实验开发基金资助项目(SK201307);重庆理工大学管理科学与工程开放课题
作者简介:龚立雄(1978—),男,湖北仙桃人,讲师,博士(herogong2001@sohu.com),主要从事质量控制与测试、视觉图像检测、制造系统与企业信息化等研究.

Key words: crop image recognition; combined vegetative indices; double threshold; gray – scale image; image processing

现代农业要求生产规模化、项目集约化、耕作自动化. 机器视觉技术也开始应用于大规模农业,通过高速摄像图获取农作物图像,在图像处理技术配合下,控制农业机器人进行农业自动化耕作,如施肥、除草、收割[1-2]. 因此,识别农作物是后续处理的第一阶段. 对于植物图像识别,Guerrero 等[3]提出了支持向量机(support vectors machine,SVM)识别算法,但支持向量机算法需要训练,且依赖于所提供的样本. Meyer 等[4]分别提出了 ExG,ExR,CIVE,VEG 等谱成分指标. Guijarro 等[5]将上述指标合成,取得了一定的效果,但应用该指标进行图像分割与识别需要设置固定的阈值,如何设置是一个难题. Ruiz – Ruiz 等[6]采用环境自适应分割算法处理光照发生变化的检测植物图像. 吴昊鹏等[7]分析了白色异性纤维和皮棉灰度直方图,提出改进二维 OTSU 算法,在计算目标与背景的概率之和时考虑了二维灰度直方图副对角线区域的概率之和,缩小了二维 OTSU 算法阈值取值范围. 王海清等[8]采用脉冲耦合神经网络分割黄瓜图像,利用训练好的分类器判别图片中的黄瓜,正确率达到了 82.9%.

上述图像识别均是通过植物的绿色,并假定绿色植物都能显示高绿、非常清晰,而植物绿色程度存在不同. 当图像中绿色谱成分少于红色谱成分时,绿色农作物图像分割难度增加,识别的有效性就会降低. 而利用普通的灰度图算法,则会造成农作物图像分割点模糊. 针对上述问题,文中提出运用植被指标合成计算灰度,根据双阈值 OTSU 算法进行图像二值化和图像分割,利用形态学运算识别农作物图像,并与基于双阈值迭代算法(double threshold iterative medhod,DTIM)进行比较,证明文中所提算法的可行性和有效性,最后采用 Visual Basic 2010 调用 Matlab 2012 图像处理工具箱,设计农作物图像识别软件系统,为图像处理可视化提供很好的借鉴.

1 农作物图像处理和识别模型

1.1 图像识别模型

根据农作物图像的不同特点,可将农作物图片分为2类[9]:农作物绿色显露充分(unmasked crops)和农作物部分隐藏或被遮盖(masked crops). 图1为农作物不同特点图像分割与识别模型,该模型分为3个阶段,每个阶段由既定的处理算法进行计算.

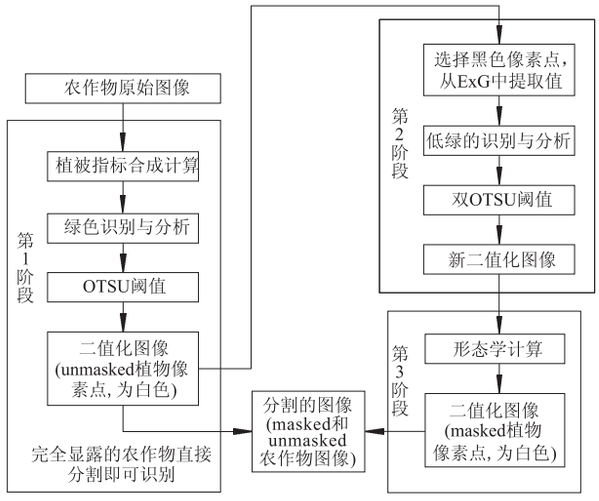


图1 农作物识别流程

Fig. 1 Crop recognition process

第1阶段,即农作物完全显露在外. 这类农作物图片很容易识别,直接根据植被指标合成计算灰度,双阈值 OTSU(上限)变换为二值化图像. 这类农作物在第1阶段即可将农作物与其他元素识别.

第2阶段,即农作物由于泥土黏附等致使农作物部分被遮盖或隐藏. 在这一阶段,提取植被指标中剩余像素点,进行双阈值 OTSU(过渡边缘点)变换,找出被遮盖的农作物像素二值化图像,这样不同类型像素点被识别开来. 加上第1阶段识别的显露在外面农作物像素点,形成农作物像素.

第3阶段,形态学运算. 运行开启、邻域点设置、闭合等形态学运算,移除独立像素点和碎片,则农作物显露的或被遮盖的图像均被识别出来,这样就能了解农田间的作物分布情况. 具体形态学算法可参考文献[10-11].

试验研究将重点以玉米地中生长初期的玉米苗为研究对象分析和验证农作物图像识别与分割模型.

1.2 农作物图像植被合成指标

由农作物识别模型可知,每个阶段都需要进行图像分割和识别. 在第1阶段,需要进行图像处理,将 RGB 格式图像转化为灰度图. 这里采用植被指标合成(combined vegetative indices,ComVI)来计算农作物的灰度. 首先需要用式(1)将 RGB 的像素点正

则化[12]：

$$r=\frac{R_n}{R_n+G_n+B_n},\ g=\frac{G_n}{R_n+G_n+B_n},\ b=\frac{B_n}{R_n+G_n+B_n},\tag{1}$$

式中：R_n,G_n,B_n 是 RGB 的正则化坐标像素，范围为[0,1]，由式(2)计算得出：

$$R_n=\frac{R}{R_{\max}},\ G_n=\frac{G}{G_{\max}},\ B_n=\frac{B}{B_{\max}},\tag{2}$$

其中 $R_{\max}=G_{\max}=B_{\max}=255$.

植被指标合成值 *ComVI* 由式(3)－(6)确定：

1）超绿

$$ExG=2g-r-b.\tag{3}$$

2）植被提取颜色指标

$$CIVE=0.441r-0.811g+0.385b+18.787\ 45.\tag{4}$$

3）植被色

$$VEG=\frac{g}{r^a b^{1-a}},\tag{5}$$

式中：a 的值取 0.667[4].

3 种植被指标合成则为

$$ComVI=w_{ExG}ExG+w_{CIVE}CIVE+w_{VEG}VEG,\tag{6}$$

式中：w_{ExG},w_{CIVE},w_{VEG} 为植被指标权重，$w_{ExG}=0.36$，$w_{CIVE}=0.47$，$w_{VEG}=0.17$. *ComVI* 为植被指标合成结果，其范围为[0,1].

在 Matlab 图像处理软件算法中，传统灰度图算法采用的灰度梯度为[0,255]范围，其将彩色图转换为灰度图的实质是通过 RGB 到 YUV 空间的 Y 的转换. 语法为 I = rgb2gray(RGB)，其中 RGB 为图像名，整个灰度转化公式为

$$Y=0.298\ 9R+0.587\ 0G+0.114\ 0B.\tag{7}$$

该算法灰度级数较大，权重的设置假定在光线充足不受干扰的情况，但当有相近或者混杂颜色的物质时，其灰度效果较差. 而文中则采用植被指标合成来计算出农作物灰度，具有很好的抗噪能力.

1.3　双阈值 OTSU 自适应算法

OTSU 法是日本学者大津展之提出的一种算法，其基本原理是以目标和背景的最大类间方差或最小类间方差作为阈值的选取方法[13-14]. 但 OTSU 算法是一种全局性算法，无法适应局部的变化. 对于复杂图片和干扰情况，不一定存在明显的波峰和波谷. 而文中在阈值设定上采用双阈值 OTSU 自适应算法，解决农作物图像分割的难题.

将经过非极大值抑制后的梯度幅值分为 l 个等级，模极大值分为 3 类：即 C_0 为非边缘像素，C_1 为包含的像素不一定为边缘点即过渡点，C_2 为边缘像素点. 假定图像归一化直方图值

$$p_r(r_q)=\frac{n_q}{n},\ q=0,1,2,\cdots,l-1,\tag{8}$$

式中：n 为图像总像素；n_q 是灰度级为 r_q 的像素数目；l 为图像中可能的灰度级数.

设 C_0 为灰度级是[0，1，…，k]的像素，C_1 为灰度级是[$k+1,k+2,\cdots,m$]的像素，C_2 为灰度级是[$m+1,m+2,\cdots,l-1$]的像素. 则 OTSU 算法的最大类间方差 σ_A^2 的阈值为 k 和 m，类间方差定义为

$$\sigma_A^2=\omega_0\sigma_0^2+\omega_1\sigma_1^2+\omega_2\sigma_2^2,\tag{9}$$

式中：

$$\omega_0=\sum_{q=0}^{k}p_r(r_q),\ \mu_0=\sum_{q=0}^{k}qp_r(r_q)/\omega_0,\omega_1=\sum_{q=k+1}^{m}p_r(r_q),\ \mu_1=\sum_{q=k+1}^{m}qp_r(r_q)/\omega_1,\omega_2=\sum_{q=m+1}^{l-1}p_r(r_q),$$

$$\mu_2=\sum_{q=m+1}^{l-1}qp_r(r_q)/\omega_2,\sigma_0^2=\sum_{q=0}^{k}(q-\mu_0)^2/\omega_0,\sigma_1^2=\sum_{q=k+1}^{m}(q-\mu_1)^2/\omega_1,\sigma_2^2=\sum_{q=m+1}^{l-1}(q-\mu_1)^2/\omega_1,$$

因此，式(9)可写为

$$\sigma_A^2=\int_0^k(q-\mu_0)^2p_r(r_q)d_q+\int_{k+1}^{m}(q-\mu_1)^2p_r(r_q)d_q+\int_{m+1}^{l-1}(q-\mu_2)^2p_r(r_q)d_q.\tag{10}$$

式(10)中分别对 k 和 m 求偏导数，则

$$\begin{cases}2k-\mu_0-\mu_1=0,\\2m-\mu_1-\mu_2=0.\end{cases}\tag{11}$$

联立求解，则 m,k 为求得的双阈值. 对于低于下限阈值像素点，可作为非边缘点去除，高于上限阈值点，作为边缘保留. 介于双阈值之间的点，则为过渡点. 当然，根据实际情况也可以采用多阈值 OTSU 算法，其算法与双阈值 OTSU 算法类似，具体详见文献[15].

2　试验研究分析

2.1　试验数据图片简述

试验数据为玉米地中生长初期的玉米苗图像 200 幅，土壤湿润度适中，玉米苗图像获取时间间隔为 1 周，采集图片为 24 位色，JPG 格式. 图 2，3 是 200 幅图像中具有代表性的 2 类特点的玉米苗图片. 图 2 是玉米苗有部分被土壤等遮盖、中间有杂草

等噪声图片. 图3则为除草和雨水清洗后所拍摄,玉米苗充分显露、清晰的图片. 在200幅试验图片中属于图片2特点的150幅,属于图片3特点的50幅.



图2 玉米苗部分被遮盖试验数据图片
Fig. 2 Experimental data image of masked maize seedling



图3 玉米苗显露充分试验数据图片
Fig. 3 Experimental data image of unmasked maize seedling

2.2 讨论与分析

因图3特点的玉米苗绿色显露充分,且受干扰较小,在文中算法的第1阶段即可实现玉米苗与周边土壤的识别,所以文中重点分析如图2特点的玉米苗图像识别. 根据图像识别模型,首先利用式(1)-(5)分别计算出 *ExG*、*CIVE* 和 *VEG* 指标,通过式(6)算出植被指标合成(即 *ComVI*),通过 *ComVI* 可获得玉米苗的灰度图像,如图4所示.



图4 部分被遮盖玉米苗的ComVI灰度图
Fig. 4 ComVI gray - scale image of partially masked maize seedling

图5为植被指标合成算法的图像灰度的直方图,灰度级数 r_q 在[0,255]之间,纵坐标表示出现该灰度级数的像素数目 n_q. 根据OTSU原理,计算OTSU第1阶段和第2阶段阈值. 图中 a,c 为植被指标合成双阈值OTSU设定算法第2阶段和第1阶段的OTSU值. 为验证植被指标合成双阈值OTSU算法图像识别的准确性,与双阈值迭代设定法进行比较,图5中 b,d 双阈值迭代设定所获取的阈值.

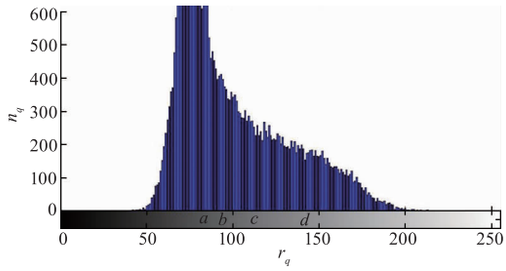


图5 部分被遮盖植物ComVI灰度双阈值直方图
Fig. 5 ComVI double threshold histogram of partially masked crop

表1分别为图2,3中植被指标合成双阈值OTSU算法(即ComVI + OTSU)与DTIM阈值设定算法的4个值.

表1 ComVI + OTSU算法与DTIM算法所得的两阶段阈值
Tab. 1 Two stages threshold with ComVI + OTSU and DTIM algorithm

阈值	ComVI + OTSU 算法		DTIM 算法	
	a	*c*	*b*	*d*
图2	83.5	112.0	97.3	140.4
图3	87.0	118.2	105.0	146.9

图6为图4通过OTSU算法求得阈值 c 的二值化图像,可以看出植被指标合成双阈值OTSU算法第1阶段,白色像素点识别为显露的玉米苗像素点,伪色彩颜色用黄色标记,如图7中黄色部分. 而对于图6中二值化图像中黑色像素点,则在第2阶段和第3阶段用双阈值OTSU算法中第2个阈值进行二值化分割、形态学运算,由此识别被泥土等遮盖的玉米苗,在图7中用紫色标记. 由图7可知,文中算法能有效识别被遮盖和显露的玉米苗.

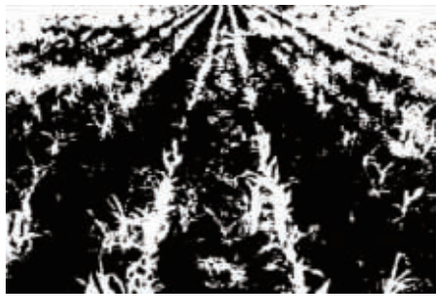


图6 OTSU双阈值二值化图像
Fig. 6 OTSU double threshold Binary image

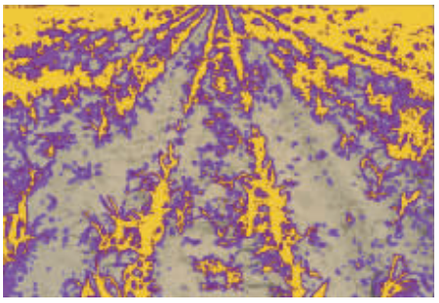


图 7　部分遮盖 ComVI + OTSU 识别图
Fig. 7　Partially masked ComVI + OTSU recognition

图 8 为 DTIM 算法所识别的玉米苗图片，比较图 7，8 可知，文中所提算法要比 DTIM 识别被遮盖的玉米苗数量多，并且文中所提算法能识别的小块补丁图像在 DTIM 算法中部分不能识别（图 8 中矩形标识）. 在第 1 阶段，由于 d 比 c 大，所以 DTIM 识别显露的玉米苗要比文中所提的 ComVI 算法少，在第 2 阶段，又因 b 比 a 大，最后很多被遮盖的玉米苗也不能被 DTIM 识别出来.

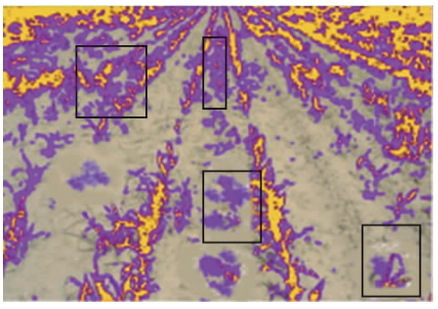


图 8　部分遮盖 DTIM 阈值的玉米苗图像识别
Fig. 8　Partially masked DTIM threshold recognition

为了进一步证明文中所提算法的有效性和准确性，从 200 幅图片中随机选取包含显露充分和部分被遮盖的图片 40 幅作为样本，运用专家进行人工识别和统计，2 种算法识别的成功率如表 2 所示. 从表中可以看出，文中所提算法优于 DTIM 算法.

表 2　文中所提算法（ComVI + OTSU）与 DTIM 图像识别成功率
Tab. 2　Percentage of success obtained by ComVI + OTSU and DTIM　%

图像识别成功率	ComVI + OTSU	DTIM
显露充分玉米苗像素	95. 3	82. 5
部分被遮盖玉米苗像素	92. 7	78. 8

2. 3　农作物图像识别软件系统

良好的图像识别人机交互界面，有助于图像准确识别与处理. 文中设计了农作物图像识别软件系统. 该软件系统在 Windows XP 操作模式下运行，基于 Visual Basic 2010 环境开发. 在植被指标合成计算、双阈值 OTSU 分割、图像二值化处理、形态学计算、伪色彩填充等阶段，通过调用 Matlab 2012 图像处理工具箱，完成农作物图像识别的全过程. 图 9 为农作物图像识别软件系统界面.

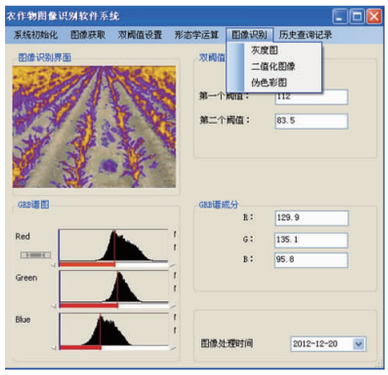


图 9　农作物图像识别软件系统界面
Fig. 9　Crop image recognition software system interface

农作物图像识别软件系统由系统初始化、图像获取、双阈值设置、形态学运算、图像识别、历史查询记录等模块组成. 其中，系统初始化在农作物图像处理前设置，图像获取是通过对话框形式导入相机所拍摄图像，图像导入系统后，系统调用 Matlab 2012 程序将彩色图像通过植被指标合成公式转换为灰度图，根据图像识别和分割具体情况进行双阈值设定、形态学运算、图像二值化等图像处理过程，最后将识别结果在界面上显示，并自动求解图像的 RGB 谱成分，最后将数据保存在数据库中. 可通过历史查询记录模块查询以前的图像识别数据，便于统计.

3　结　论

文中主要讨论了农作物图像识别算法，设计了农作物图像识别软件系统. 针对传统算法中灰度图不能识别被遮盖农作物全貌的问题，提出了植被指标合成双阈值 OTSU 算法. 通过试验研究，选取了生长初期的玉米苗为研究对象，将文中所提算法与 DTIM 算法进行比较，证明了该算法的优越性，最后用 Visual Basic 2010 和 Matlab 2012 软件实现了图像识别的自动化与可视化. 相比较而言，文中只讨论了如何将显露充分和部分被遮盖的农作物与周边土壤等杂质识别和区分开来，但是如何根据 RGB 的谱成分进一步细分，精确识别农作物与杂草，将是下一阶段的研究工作.

参考文献(References)

[1] 熊俊涛,邹湘军,陈丽娟,等. 基于机器视觉的自然环境中成熟荔枝识别[J]. 农业机械学报,2011,42(9):162-166.
Xiong Juntao, Zou Xiangjun, Chen Lijuan, et al. Recognition of mature litchi in natural environment based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 162-166. (in Chinese)

[2] 张春龙,黄小龙,耿长兴,等. 智能锄草机器人系统设计与仿真[J]. 农业机械学报,2011, 42(7):196-199.
Zhang Chunlong, Huang Xiaolong, Geng Changxing, et al. Design and simulation of intelligent weeding robot system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7): 196-199. (in Chinese)

[3] Guerrero J M, Pajares G, Montalvo M, et al. Support vector machines for crop/weeds identification in maize fields[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(12): 11149-11155.

[4] George E Meyer, Joao Camargo Neto. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 63(2): 282-293.

[5] Guijarro M, Pajares G, Riomoros I, et al. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 75(1):75-83.

[6] Ruiz-Ruiz G, Gómez-Gil J, Navas-Gracia L M. Testing different color spaces based on hue for the environmentally adaptive segmentation algorithm[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 68(1):88-96.

[7] 王昊鹏,冯显英,李丽. 基于改进二维最大间类方差法的白色异性纤维检测算法[J]. 农业工程学报,2012,28(4):214-219.
Wang Haopeng, Feng Xianying, Li Li. Detection algorithm of white foreign fibers based on improved two-dimensional maximum between-class varicance method [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4):214-219. (in Chinese)

[8] 王海青,姬长英,顾宝兴,等. 基于机器视觉和支持向量机的温室黄瓜识别[J]. 农业机械学报,2012,43(3):163-167,180.
Wang Haiqing, Ji Changying, Gu Baoxing, et al. In greenhouse cucumber recognition based on machine vision and least squares support vector machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(3):163-167, 180. (in Chinese)

[9] Guerrero J M, Guijarro M, Montalvo M, et al. Automatic expert system based on images for accuracy crop row detection in maize fields[J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(2):656-664.

[10] 李杰,彭月英,元昌安,等. 基于数学形态学细化算法的图像边缘细化[J]. 计算机应用,2012,32(2):514-516,520.
Li Jie, Peng Yueying, Yuan Chang'an, et al. Edge thinning based on mathematical morphology thinning algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 32(2):514-516,520. (in Chinese)

[11] Nachtegael M, Sussner P, Mélange T, et al. On the role of complete lattices in mathematical morphology: From tool to uncertainty model[J]. Information Sciences, 2011, 181(10):1971-1988.

[12] Montalvo M, Pajares G, Guerrero J M, et al. Automatic detection of crop rows in maize fields with high weeds pressure[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(15):11889-11897.

[13] Zhang Guimei, Chen Shaoping, Liao Jiani. Otsu image segmentation algorithm based on morphology and wavelet transformation [C]//3rd International Conference on Computer Research and Development (ICCRD2011), 2011:279-283.

[14] 韩慧妍,韩燮. 形态学和OTSU方法在Canny边缘检测算子中的应用[J]. 微电子学与计算机,2012,29(2):146-149.
Han Huiyan, Han Xie. Application of morphology and Otsu method in Canny edge detection operator[J]. Microelectronics and Computer, 2012, 29(2):146-149. (in Chinese)

[15] 王磊,段会川. Otsu方法在多阈值图像分割中的应用[J]. 计算机工程与设计,2008,29(11):2844-2845,2972.
Wang Lei, Duan Huichuan. Application of Otsu' method in multi-threshold image segmentation [J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(11):2844-2845, 2972. (in Chinese)

(责任编辑 徐云峰)