

太阳能电池板缺陷分割技术研究

陈 磊, 乔继红, 陈 岩

(北京工商大学 计算机与信息工程学院, 北京 100048)

摘 要: 太阳能电池板在生产过程中会产生缺陷, 缺陷会导致太阳能电池板的效率降低, 因此需要对太阳能电池板进行缺陷检测. 缺陷分割在自动检测过程中是最困难的一步, 也是后续检测过程的前提. 针对家用小型太阳能电池板进行缺陷检测, 该种电池板具有矩形外框、电极在中部、电致发光灰度不均等特点. 根据以上特点, 提出了一种创新的缺陷检测方法. 首先获取图像的先验知识, 然后通过前景分割、求灰度差分图、对灰度差分图使用二维最大类间方差法求缺陷起止位置、连接缺陷区域、形态学开操作处理、去除电极位置等步骤分割缺陷. 实验结果表明, 提出的方法可以准确完整地分割出缺陷位置.

关键词: 前景提取; 灰度差分; 二维最大类间方差法; 太阳能电池板; 缺陷分割

中图分类号: TP317.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)12-0098-05

The Algorithm Research of Solar Cells Defect Segmentation

CHEN Lei, QIAO Ji-hong, CHEN Yan

(College of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

Abstract: In the process of production defects can reduce the efficiency of solar panels, so it need to defection the defect. In the process of solar cell defects automatic detection, defect segmentation process is the difficult process and the premise and key for subsequent identification. This paper based on household small solar panels for defect detection. The characteristics of this kind of panels is a rectangular frame, electrode in the central and unequal electroluminescent grayscale. According to the above characteristics, An innovative method of defect detection is proposed. First acquire the image of a priori knowledge, Then defect segmentation by using foreground segmentation, calculate the gray level difference, calculation of defect location of beginning and ending, connected to the defect area, morphological open operation processing, remove the electrode position. The experiment results show that the proposed method can successfully segment the defect.

Key words: foreground extraction; grayscale difference; 2-d otus method; solar panels; defect segmentation

1 引言

太阳能电池是通过光电效应或者光化学效应直接把光能转化成电能的装置. 太阳能电池板则是由若干个太阳能电池按一定方式组装在一块板上的组装件. 中国对太阳能电池的研究开发工作高度重视, 发改委“光明工程”将筹资 100 亿元用于推进太阳能发电技术的应用, 计划到 2015 年全国太阳能发电系统总装机容量达到 300 MW. 中国已成为全球光伏

产品最大制造国. 太阳能电池在从军事航天等向着家用化民用化发展, 例如太阳能手机充电、太阳能风扇、太阳能路灯等. 本文针对家用小型太阳能电池板进行缺陷检测.

太阳能电池板在生产过程中产生的缺陷会导致发电效率降低、产品寿命降低等不良影响. 目前的检测方法主要有手工检测法、激光检测法、电致发光检测法 EL(electroluminescence)等. 手工检测法效率低, 易产生漏检错检; 激光检测法成本昂贵; 而电致发光

收稿日期: 2014-02-02; 修回日期: 2014-03-28

基金项目: 北京市教委科技计划面上项目(KM201210011003)

法由于成本低效率高等特点应用最广. EL 检测方法是通过 CCD(Charge-coupled Device, 电荷耦合元件)摄像机拍摄太阳能电池组件通电发出的近红外光, 根据灰度的不同, 对图片进行缺陷分割、特征提取并分类^[1].

对于太阳能电池板的缺陷自动识别技术, 缺陷分割是最为关键的一步, 准确完整地分割出缺陷会为后续特征提取分类工作带来便利. 由于国内所做的理论研究对象是层压前的太阳能电池或者大型太阳能电池板^[2,3], 前者是正方形无规则纹理的图像^[4], 后者是由八角形太阳能电池单片组成. 而家用小型太阳能板是矩形外框, 电极在电池的中间竖向排列, 栅线在电极两侧连向外框且保持一定间距, 因此不能使用上述参考的文献的方法.

本文首先根据所要分割电池的类型, 测得电池的栅线宽度、电极位置. 其次使用逐行逐列扫描法提取太阳能电池板的位置, 即提取前景, 然后使用灰度差分法求出正、负差分图, 再分别对正负差分图使用去零二维最大类间方差法求出缺陷位置的起点与终点, 最后连接相应的起点与终点, 并去除电极位置, 分割出缺陷.

2 电致发光检测原理及实验设备

电致发光, 是指由于电激发而引起的材料的光发射. 对于太阳能电池而言, 电致发光即通过对电池施加正向偏压, 此时太阳能电池的 p-n 结势垒区和扩散区注入了少数载流子, 这些非平衡少数载流子不断与多数载流子复合而发出波长为 850~1 200 nm 的近红外光. 发光的强度与载流子的扩散强度有关, 而缺陷位置与正常位置相比, 无电子迁移, 便没有复合现象, 这样缺陷位置便会较暗. 发出的近红外光由 CCD 摄像机捕捉, 形成图像, 再传送到计算机中, 进行缺陷识别工作. 由于近红外光强度较低, 为了获取更清晰的图像, 需要在暗室中拍摄以减少可见光的影响.

太阳能电池的电致发光检测设备的基本结构由直流电源、暗箱、CCD 摄像机和计算机组成. 直流电源选用 SUING 的 SS2323 可跟踪直流稳压电源, 电压选取量程 0~32 V. CCD 摄像机使用 Lumenera 公司的 INFINITY3-1 型号摄像机. 计算机为 DELL, N5010.

3 图像特点及预处理工作

本文所研究的太阳能电池板的近红外图像具有

以下特征:

(1) 采集到的图片包含太阳能电池板区域以及背景区域(如图 1), 且背景区域占很大一部分, 因此必须先进行太阳能电池板区域提取, 即前景提取工作.

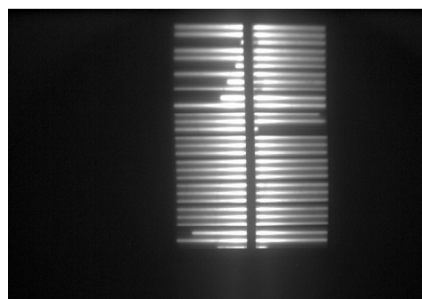


图 1 采集到的原始图

(2) 本实验所用 CCD 相机拍摄出的图像具有大量的暗电流噪声及读出噪声, 属于噪声严重的图像, 因此需要进行去噪处理.

(3) 太阳能电池板外框为矩形, 电极在太阳能电池板的中间区域, 纵向贯穿整个太阳能电池板, 栅线位于电极两侧, 以一定间距横向排列, 栅线的宽度基本一致.

(4) 栅线为亮暗交替中较亮的区域, 由电极向两侧, 栅线的亮度越来越暗, 这是由于电阻引起的. 栅线在边缘地带的亮度有时比栅线之间在电极附近的亮度还要低, 因此不能用简单的阈值法直接进行分割缺陷.

为了更好地进行缺陷分割, 需要对采集到的图像进行预处理, 预处理通常包含图像去噪及灰度增强, 本文只选择了去噪处理. CCD 噪声来源包括以下几种^[5]: 光子散粒噪声、复位噪声、暗电流噪声、模式噪声、 $1/f$ 噪声、宽带白噪声及量化噪声. 经过 CCD 相机内部电路消噪之后的主要噪声为复位噪声和 $1/f$ 噪声等读出噪声. CCD 相机的读出噪声为高斯白噪声, 宁媛、李皖等人的研究^[6]表明: 维纳滤波和小波滤波用于去除高斯白噪声的效果最好, 维纳滤波可较好地去除高斯白噪声, 图像也不致太模糊. 因此本文选择维纳滤波对太阳能电池图像进行去噪处理.

4 缺陷分割原理

4.1 前景提取

采集到的太阳能电池图片包含着太阳能电池区域和暗室的背景区域. 背景区域灰度很低, 对缺陷分

割有着很大的阻碍作用. 如果不分离背景和电池区域而直接进行分割, 会严重影响分割效果, 造成分割错误的情况出现. 基于此, 首先需要把背景分离出去. 由于常用的家用小型太阳能电池板均为长方形, 只是大小规格不同, 因此采用逐行逐列扫描法来分割电池区域.

由于暗室背景区域和太阳能电池区域有着很明显的灰度差, 因此可以选取阈值 k 对其进行分割. 但由于太阳能电池上下两边亮度集中, 造成上下区域分割的阈值与左右的阈值不同. 因此选取两个阈值进行分割, 上下阈值为 k_b , 左右阈值为 k_l . 由于噪声和亮度辐射的原因, 不能因为一个点超过阈值而做出这一行是边界的判断, 因此设定当连续 m 个单位亮度大于 k 时, 此列为边界点. 由于太阳能电池图片在施加的电压电流相同时, 同一规格不同的电池的亮度均相同. 因此, 只需要确定一个恒定阈值 k_b, k_l 即可. 阈值 k_b, k_l 是人工取靠近电池区域的上下、左右背景区域各 20 处, 取其平均值所得到的结果. m 根据栅线的宽度确定. 具体步骤如下:

① 从左向右竖着扫描, 当连续 m 个单位亮度大于 k_l 时, 记录这些连续点的起始点与结束点, 此时应该有多对起始点与结束点, 选取坐标最小的点作为左上点, 记为 $a_1(x_1, y_1)$, 并寻找这一列 x 最大的结束点, 记为 $a_2(x_2, y_1)$. 选取 y 坐标最大时, x 坐标最小的点, 记为 $a_7(x_7, y_7)$, x 坐标最大的点, 记为 $a_8(x_8, y_7)$.

② 从上向下横着扫描, 当连续 m 个单位亮度大于 k_b 时, 记录这些连续点的起始点, 与结束点. 此时应该有多对起始点与结束点. 选取坐标最小的点作为左上点, 记为 $a_3(x_3, y_3)$, 并寻找这一行 y 最大的结束点, 记为 $a_4(x_3, y_4)$. 选取 x 坐标最大时, y 坐标最小的点, 记为 $a_5(x_5, y_5)$, y 最大的点, 记为 $a_6(x_5, y_6)$.

③ 求四个角的坐标, 首先求最大、最小横坐标与最大、最小纵坐标 4 个点:

$$t_{x1} = \min\{x_1, x_3, x_5\} \quad (1)$$

$$t_{y1} = \min\{y_1, y_3, y_7\} \quad (2)$$

$$t_{x2} = \max\{x_3, x_5, x_7\} \quad (3)$$

$$t_{y2} = \max\{y_1, y_5, y_7\} \quad (4)$$

创造矩阵 target , 大小为 $[X_m, Y_n]$, 把 $f(x, y)$ 中以 $f(t_{x1}, t_{y1}), f(t_{x1}, t_{y2}), f(t_{x2}, t_{y1}), f(t_{x2}, t_{y2})$ 四个顶点的矩形中的值复制到 target 中:

$$f(t_{x1}, t_{y1}) = \text{target}(1, 1) \quad (5)$$

$$f(t_{x1}, t_{y2}) = \text{target}(1, Y_n) \quad (6)$$

$$f(t_{x2}, t_{y1}) = \text{target}(X_m, 1) \quad (7)$$

$$f(t_{x2}, t_{y2}) = \text{target}(X_m, Y_n) \quad (8)$$

其中,

$$X_m = t_{x2} - t_{x1} + 1 \quad (9)$$

$$Y_n = t_{y2} - t_{y1} + 1 \quad (10)$$

各点位置如图 2 所示.

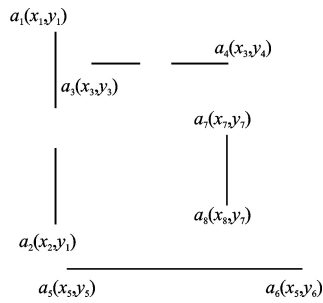


图 2 各点位置图

前景分割后的图像只包含太阳能电池板区域, 由于图像特点 4, 无法直接使用阈值法进行分割, 因此先求出图像的灰度差分图.

4.2 灰度差分图

灰度差分法是按照一定规则, 使图像像素成员互相做减法, 求得的差分图. 本文对图像中的每一个像素, 列数加上步长 b 减去该像素求得差分图, 公式如下:

$$h(i, j) = h(i, j + b) - h(i, j) \quad (11)$$

式中, i, j 表示像素点的行、列坐标, b 表示步长, $h(i, j)$ 表示像素点的灰度值.

此时得到的灰度差分图有正值, 也有负值, 如果直接对灰度差分图进行二维最大类间方差法进行分割, 无法分割出正确的区域, 因此拆原灰度差分图为正、负两幅差分图, 即正差分图为正像素值和零(把负像素设 0)值构成, 负差分图为负像素值和零(把正像素设 0)值构成.

4.3 二维最大类间方差法

由灰度差分图可以看出, 缺陷区域开始和结束的位置的差值较大, 这是由于原图缺陷位置的灰度突变造成的. 需要使用一种方法提取出这些较大的差值, 因此选用二维最大类间方差法.

二维类间方差法^[8,9] 不仅考虑了像素点的值, 还考虑到了像素点周围空间上的平均值, 因此可以忽略单独点, 是正确率更高. 二维类间方差法是假设图像的二维灰度直方图存在两个波峰, 并选取使距离测度函数最大的阈值进行分割. 由于对正负两幅差分图设置了大量的零点, 人为地造成了一个波峰, 因此在使用二维最大类间方差法时需要去除零点的

干扰。

一副像素值灰度区间在 $[0, L]$ 的图像 f 大小为 $[M, N]$,在每一点 $f(i, j)$ 选取大小为 $w \times w$ 的邻域模板,求平均值 $g(i, j)$ 。设二维灰度直方图行为图像 f 的像素的灰度值,列为平均灰度值。选取阈值向量 (s, t) 分割二维灰度直方图为4个区域,其中远离对角线的区域的概率可设为0。 $f \in (0, s]$ 且 $g \in (0, t]$ 为目标区域 C_1 , $f \in (s, L]$ 且 $g \in (t, L]$ 为背景区域 C_0 。

背景对应的灰度平均值 μ_{0f} 、邻域均值的平均值 μ_{0g} ,目标的灰度平均值 μ_{1f} 、邻域均值的平均值 μ_{1g} ,整幅图像的灰度平均值 μ_{2f} 、邻域均值的平均值 μ_{2g} :

$$\mu_0 = (\mu_{0f}, \mu_{0g})^T = \left[\sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t \frac{iP_{ij}}{\omega_0(s, t)}, \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t \frac{jP_{ij}}{\omega_0(s, t)} \right]^T \quad (12)$$

$$\mu_1 = (\mu_{1f}, \mu_{1g})^T = \left[\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} \frac{iP_{ij}}{\omega_1(s, t)}, \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} \frac{jP_{ij}}{\omega_1(s, t)} \right]^T \quad (13)$$

$$\mu_2 = (\mu_{2f}, \mu_{2g})^T = \left(\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} iP_{ij}, \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} jP_{ij} \right)^T \quad (14)$$

定义距离测度函数如下:

$$B(s, t) = \omega_0(s, t) [(\mu_{0f} - \mu_{2f})^2 + (\mu_{0g} - \mu_{2g})^2] + \omega_1(s, t) [(\mu_{1f} - \mu_{2f})^2 + (\mu_{1g} - \mu_{2g})^2] \quad (15)$$

遍历 L ,选取最佳阈值向量 (s^*, t^*) 使距离测度函数最大,并用向量 (s^*, t^*) 分割图像。

4.4 标记缺陷区域

此时经过二维最大类间方差法分割后的正、负差分图分别包含缺陷区域的截止、起始位置。要想连接相对应的起始、截止位置,即连接一对负、正坐标,需要对正、负差分图进行处理和制定相应的规则。

对正负差分图进行相加,然后逐行求缺陷区域,根据图像特征,规则如下:

①逐行扫描,一个标准的缺陷区域由负坐标开始,到右侧最近的正坐标结束。

②连续的多个正或负坐标视为一个区域,且正、负区域均从最右坐标点开始算起。

③当先出现正时,正的左边一直到边界,视为缺陷区域。

④当没有与负相对应的正出现时,负的右边一直到边界,视为缺陷区域。

⑤当出现连续的多个正区域,取最右边的;当出

现连续的多个负区域,取最左边的。

4.5 形态学处理

标记缺陷区域后的图像含有许多细小的点和线,这可能是由于噪音所引起的误检测,因此需要去除这些点,形态学中的开操作可以起到平滑图像轮廓、断开狭窄的间断、消除细小的物体。

开操作是选取结构元素 B ,对图像先进行腐蚀,再进行膨胀。

5 实验步骤及结果

本文实验所用的电池尺寸为 $84.5 \text{ mm} \times 55.5 \text{ mm}$,所加正向偏压为 8.3 V 。

(1)测前景提取的阈值 k_b, k_l 与栅线宽度 m 。在上说实验条件下选取所拍摄CCD照片靠近电池区域的上下、左右背景区域各20处,测得 $k_b=100, k_l=70$,栅线宽度 $m=10$ 。

(2)对图像进行预处理,原始图像太大,因此缩小50%。然后去除噪声,使用2次 5×5 的维纳滤波器。

(3)根据4.1节中的方法进行前景提取。

(4)对提取出的前景求灰度差分图。

(5)分别对正负灰度图使用二维最大类间方差法求缺陷的起止位置。

(6)根据4.4节中的规则进行缺陷位置进行标记。

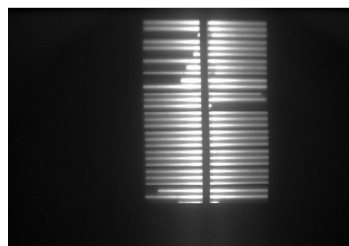
(7)对缺陷图进行开操作。

(8)此时的缺陷图包含电极区域,由于本实验图像电极在中间区域,因此过中间区域的缺陷位置均视为电极误检,予以消除。具体方法是逐行扫描,如果中间每行中间点为1,那么像两边逐个排查,连续为1的位置都标记为0。

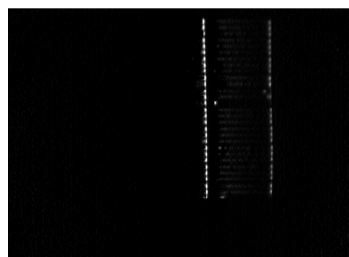
本文选取含有缺陷的家用小型太阳能电池板进行检测,在前景提取这步,使用Sobel边缘检测与本文的方法进行对比,实验结果表明(图3),Sobel算子不能很好地检测出边缘,无法打到提取前景的目的,而本文的方法可以完整准确的分割出太阳能电池板所在区域。

图4中(a)是二维最大类间方差法分割后的灰度差分图(其中白色是正值,黑色是负值,灰色是零区域), (b)~(d)依次为缺陷标记图,开操作后的缺陷标记图,去除电极后的缺陷图(其中白色为缺陷区域)

图5所示为缺陷图与前景图重合的结果,由图5可以看出,本文的方法可以有效的检测出缺陷位置。



(a)采集到的原始图



(b)使用 Sobel 边缘检测结果



(c)本文的边缘检测结果

图 3 前景提取



(a)二维最大类间方差法分后灰度差



(b)缺陷标记图分图



(c)开操作后的图



(d)去除电极后的缺陷图

图 4 灰度差及后续处理图



图 5 缺陷图与前景图重合结果

6 结束语

本文根据家用小型太阳能电池板电致发光图像的特点,提出了一种创新的缺陷检测方法.首先获取图像的先验知识,即前景分割中的上下、左右阈值、栅线宽度及电极所在位置.然后通过前景分割、求灰度差分图、对灰度差分图使用二维最大类间方差法求缺陷起止位置、连接缺陷区域、形态学开操作处理、去除电极位置等步骤分割缺陷.实验结果表明,本文的方法可以完整准确的提取出缺陷.本研究成果的太阳能电池板缺陷分割算法具有思想简单、易于实现、实现速度快等优点且具有一定的实际意义.对促进太阳能电池板缺陷分割和识别的发展具有一定的参考价值,为进一步提高太阳能电池缺陷检测的精确、高效提供了可能.

参考文献:

[1] 王超,蒋晓瑜.基于电致发光成像理论的硅太阳能电池缺

- 陷检测[J].光电子激光,2011,22(9):1333-1336.
- [2] 龚芳,张学武.基于独立分量分析和粒子群算法的太阳能电池表面缺陷红外热成像检测[J].光学学报,2012,32(04):1-8.
- [3] 董栋,陈光梦.基于近红外图像的硅太阳能电池故障检测方法[J].信息与电子工程,2010,8(5):539-543.
- [4] 张宏军.太阳能电池缺陷识别的研究与实现[D].上海:东华大学,2012.
- [5] 江宝坦,邱跃洪,文延,等. CCD 噪声建模与仿真分析[J].光电技术应用,2010,25(2):64-67.
- [6] 宁媛,李皖.图像去噪的几种方法分析比较[J].贵州工业大学学报:自然科学版,2005,34(4):63-66.
- [7] 赵慧阳.基于机器视觉的太阳能电池片表面缺陷检测的研究[D].秦皇岛:燕山大学,2011.
- [8] 景晓军,蔡安妮.一种基于二维最大类间方差的图像分割算法[J].通信学报,2001,22(4):71-76.

(下转第 107 页)

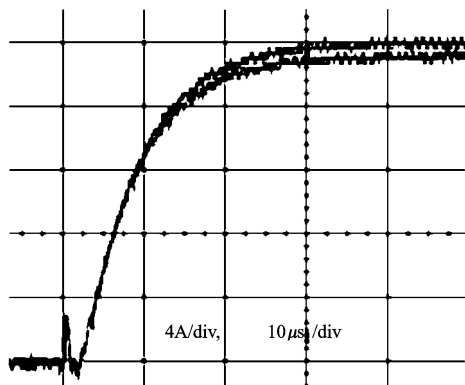


图8 并联双管漏极电流

5 结束语

文中研究分析了 VDMOS 并联运行的可行性,分析了栅极的连接方式,并联功率管的电参数特性不一致,极驱动电路中的寄生参数,栅极电阻对电路的影响。经过实验得出,电路的寄生参数如 $R_{DS(on)}$ 、源极寄生电感的存在会使 VDMOS 易于并联。

VDMOS 并联运行时,每个栅极应该串联驱动电阻,均流最根本的方法是尽可能选用参数一致性好的元器件,通过对电路布局布线进行优化获得良好的均流效果。栅电阻对电路的影响最为关键,栅极电阻较小时会使电路的 di/dt 、 dV/dt 和反向恢复电流较大而使 VDMOS 出现烧毁现象,栅电阻较大时又会使管子的开关损耗变大,因此要对电路的可靠性和效率进行折衷考虑。通过混合集成电路工艺实现了电路的小型化集成,使电路的性能得到优化。

参考文献:

[1] 谭弗娃,金如麟. 大功率电子学和电机控制[M]. 上

海:上海交通大学出版社,1999.

- [2] 杨晶琦. 电力电子器件原理与设计[M]. 北京:国防工业出版社,1999.
- [3] López T, Elferich R. Current sharing of paralleled power MOSFETs at PWM operation[C]// Power Electronics Specialists Conference. Jeju, South Korea: IEEE, 2006: 1-7.
- [4] Fujihira T, Yamada T, Minoya Y, et al. New oscillation circuit discovered in switching-mode power supplies[C]// Proceedings of the Power Semiconductor Devices Rhodes, Greece: IEEE, 2008: 193-196.
- [5] Lee S C, Oh K H, Jang H C, et al. Investigation of gate oscillation of power MOSFETs induced by avalanche mode operation[C]// 19th International Symposium on Power Semiconductor Devices and IC's. [s. l.]: IEEE, 2007: 113-116.
- [6] OhK S. AN9010-MOSFET Basics[R]. Fairchild Semiconductor, 2000.
- [7] 周庆红,王华民,刘庆丰,等. 功率 MOSFET 并联均流问题研究[J]. 电源技术应用, 2005, 18(1): 1-4.
- [8] Choi W, Young S, Kim D. Analysis of MOSFET failure modes in LLC resonant converter[C]// Telecommunications Energy Conference 31st International. [s. l.]: IEEE, 2009: 1-6.

作者简介:

吉泽男,(1988-),硕士研究生. 研究方向为混合集成电路设计技术. E-mail:ji-ze@163.com.

王玲女,(1979-),高级工程师. 研究方向为混合集成电路设计技术.

王云女,(1965-),研究员,硕士生导师. 研究方向为混合集成电路设计技术.

(上接第 102 页)

- [9] 杨恬,李德芳. 灰度图象的二维 otsu 自动阈值分割研究[J]. 西南师范大学学报,1998,23(12):658-662.
- [10] 王宇宙,赵宗涛,王旭红. 基于数学形态学的遥感图像分割算法[J]. 微电子学与计算机,2004,5(21):35-36.

作者简介:

陈磊男,(1989-),硕士. 研究方向为数字图像处理.

乔继红(通讯作者)女,(1972-),博士,副教授. 研究方向为智能控制与信息处理. E-mail:qiaojh@th. btbu. edu. cn.

陈岩女,(1963-),博士,教授. 研究方向为数字通信抗干扰与无线传感器网络.