

基于数学形态学的太阳能电池板划痕检测方法研究

黎亚娟 黄伟 周 荣

(四川大学 制造科学与工程学院, 四川 成都 610064)

摘 要:介绍了一种基于数学形态学滤波处理的太阳能电池板划痕检测方法。该方法根据太阳能电池板副栅形状特点,利用优化后结构元素进行形态学滤波去除背景副栅,再分别通过缺陷定位和面积求解,实现划痕检测。实验结果表明,所提出的检测方法能够有效的定位太阳能电池板的划痕并且求解缺陷面积。

关键词:数学形态学;太阳能电池板;划痕检测

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-4801(2016)01-016-04

近年来,我国能源问题正面临严峻的挑战,能源供给和环境污染问题日益加剧,调整能源消费结构刻不容缓。随着技术的不断进步,以太阳能为代表的清洁能源得以良好发展,这也成为了我国新能源开发的重点领域。太阳能电池板作为太阳能利用的重要部件,通常由多晶体或单晶体棒材切片而成,在生产过程中极易受到损坏^[1],产生崩边、色斑、划痕、漏浆等缺陷,因此在生产制造过程中,破损检测至关重要。目前许多太阳能电池板生产商通常采用人工检测,其检测效率低、精度低,且耗时耗力。随着视觉检测技术的发展,可以通过视觉系统和图像处理技术对太阳能电池板进行在线检测。在太阳能电池板诸多缺陷检测中,划痕由于缺陷面积较小且容易受背景副栅的干扰而不易检测。数学形态学是以一定结构元素去度量和提取图像中相应的形状,从而达到图像分析和识别的目的,基于数学形态学的滤波器能够保留或提取图像中特定的几何特征,根据这一特性,本文提出一种基于形态学滤波的检测方法,用适当结构元素去提取太阳能电池板中的副栅结构并将其滤除,消除其对划痕检测的影响,再进行后续检测。

1 形态学滤波

数学形态学是一门具备完备数学理论体系的科学,它能够定量的描述和分析图像的几何结构。形态学图像处理是将图像和形状看作点集,利用结构元素去探测一幅图像,看是否能够将该结构元素很好地填放在图像内部,同时验证填放结构元素的方式是否有效^[2]。结构元素是影响形

态学滤波处理效果的一个重要因素,其选取方法各异,例如文献[3]中提到了一种逐行扫描式的自适应结构元素选取方法,而本实验则是针对所处理图像特征采用优化结构元素的方法。

1.1 CO滤波器

腐蚀和膨胀是最基本的形态学算子。腐蚀可以缩小或细化图像中的物体,膨胀则是通过控制结构元素来增长或粗化图像中的物体,二者结合可以得到开闭运算。 B 对 A 的开运算是先用 B 对 A 进行腐蚀,紧接着用 B 对结果进行膨胀,表示为 $A \circ B$,其定义如下:

$$A \circ B = (A \otimes B) \oplus B$$

类似的, B 对 A 的闭运算是用 B 对 A 进行膨胀,再对结果进行腐蚀,表示为 $A \cdot B$,定义如下:

$$A \cdot B = (A \oplus B) \otimes B$$

开运算能够平滑物体的轮廓、断开较窄的狭颈并消除细的突出物;闭运算能够弥合较窄的间断和细长的沟壑,消除小的孔洞。形态学操作可用于构造如空间滤波概念类似的滤波器^[2]。

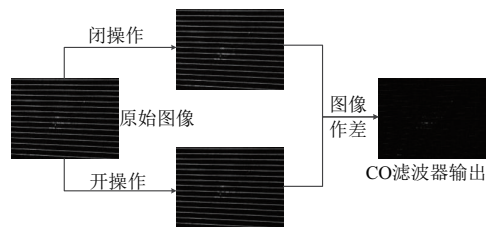


图1 CO滤波器原理示意图

图1为CO滤波器的原理示意图,其定义为图像闭运算与开运算的差:

$$CO(f) = f \cdot B - f \circ B$$

闭运算能够去掉较小暗细节而其他部分不

作者简介:黎亚娟(1990-),女,硕士,研究方向:测试计量技术与仪器。

黄伟(1967-),副教授,博士,研究方向:光电检测技术。

变,开运算能够去掉较小的亮细节而其他部分不变,两者差图可有效去除背景纹理^[4]。

1.2 结构元素选取

结构元素是研究一幅图像中感兴趣特性所用的小集合或子图像,合适的结构元素能够提高滤波器适应度。结构元素的改变有两种方法:改变结构元素的尺寸;改变结构元素的形状。由于结构元素尺寸的改变会影响缺陷图像^[5],因而结构元素形状优化更具可行性。

针对太阳能电池板副栅为水平线形,在实验中选择线形结构元素,考虑到在图像采集过程中所产生畸变和旋转偏移,水平线形副栅在水平方向会产生一定的旋转夹角,因而结构元素可以考虑在不同旋转角度结构元素中选取最优。结构元素最优选取过程是以不同旋转角度的结构元素去试探无缺陷图像,目的在于使滤波输出响应最小,此时可根据无缺陷图像滤波后的响应结果来定义一个评价函数^[4]如下式,并使之最小,从而确定最终的优化结构元素。

$$f(Q) = \sum_{i \in Q} [p(i)]^2$$

式中: Q 为 $K \times K$ 的正方形搜索区域, $P(i)$ 为第 i 个像素的滤波输出。在处理过程中,以 $K \times K$ 的搜索区域为单位分别计算滤波输出图像的评价值。

结构元素择优选取的最终目标是使图像中各区域评价值中的最大值为最小,优化步骤如下:

1) 选取线形结构元素 $SE(j) = \text{strel}('line', 10, \text{deg}(j))$, 其中旋转角度 $\text{deg}(j)$ 取值范围为 $[-15^\circ, 15^\circ]$, 则 $j = 1, 2, \dots, 31$;

2) 分别用结构元素 $SE(j)$ 对正常无缺陷图像进行滤波, 每个结构元素 $SE(j)$ 对应的滤波输出结果为 $F(j)$;

3) 对滤波输出结果 $F(j)$ 用评价函数计算评价值, 并求出 $F(j)$ 中各区域评价值的最大值:

$$f(j)_{\text{MAX}} = \max[f(A_i), A_i \in F(j), i = 1, 2, \dots, n]$$

4) 找出所有滤波输出图像中各区域评价值最大值中的最小值:

$$f(k)_{\text{MIN}} = \min[f(j)_{\text{MAX}}, j = 1, 2, \dots, n]$$

此时对应结构元素 $SE(K)$ 即为最佳结构元素。实验中, 初始结构元素 $SE = \text{strel}('line', 10, 0)$, 经优化后, 择优选取的结构元素为 $SE = \text{strel}('line', 10, -10)$ 。

2 划痕检测算法过程

2.1 图像预处理

图像预处理主要作用是图像净化, 即对系统获取的原始图像特征信息进行有针对性的处理, 滤除噪声, 提高图像后期处理的效果。

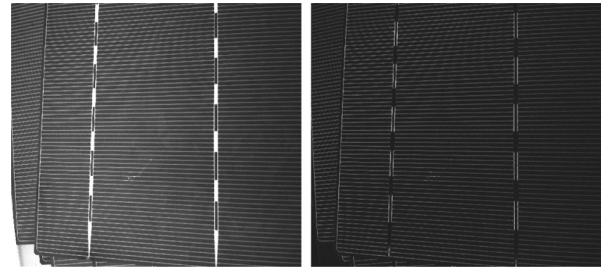
1) 顶帽变换

在图像采集过程中, 背景光照不仅影响图片质量, 并且光照不均或反射会使得局部区域较亮(或较暗), 进行阈值处理时会导致分割错误。顶帽变换可有效消除光照不均和反射所带来的影响。

灰度级图像 f 的顶帽变换定义为 f 减去其开运算:

$$T_{\text{hat}}(f) = f - (f \circ b)$$

式中 b 为用于开运算的结构元素, 在选取结构元素 b 时应注意使结构尺寸足够大以致不会拟合任何物体。图2位顶帽变换前后对比图, 可以看出电池板左下角亮区域和右上角暗区域之间的极端差别得到改善。



(a) 原始灰度图像

(b) 顶帽变换后灰度图像

图2 原始图像及顶帽变换后图像

2) 自适应中值滤波

图像采集过程中噪声不可避免, 适当的滤波可有效抑制噪声, 改善图片质量。中值滤波器是使用一个像素领域中的灰度级的中值来替代该像素的值, 以达到滤波效果, 即:

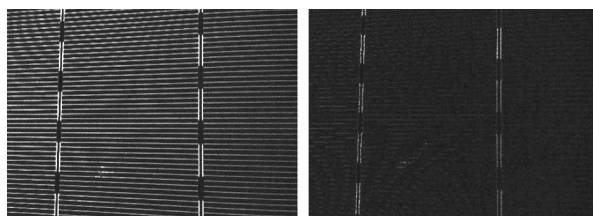
$$\hat{f}(x, y) = \text{median}\{g(s, t), (s, t) \in S_{xy}\}$$

中值滤波器对于随机噪声具有良好的去噪效果, 且比相同尺寸的线性平滑滤波器引起的模糊更少, 因而应用广泛。自适应中值滤波器同样工作于矩形窗口区域 S_{xy} 内, 但在滤波过程中 S_{xy} 尺寸会因条件而改变^[6], 因而能够处理更大概率率的脉冲噪声, 并且保留更多图像细节。本实验中在图像预处理和图像分割后均用到自适应中值滤波器, 图像预处理中采用窗口区域 $S_{\text{max}} = 7$, 图像分割后采

用窗口区域 $S_{\max}=9$ 。

3) CO 滤波处理

由于太阳能电池板中的副栅会对划痕缺陷的判定造成影响,必须在后续图像处理前加以滤除,在此采用上节中介绍过的 CO 滤波器进行处理。在本实验中 CO 滤波器主要作用是使用优化后的结构元素 SE(K)对图像进行形态学滤波,滤除太阳能电池板中的副栅,保留划痕缺陷,以便后续图像处理,滤波前后对比如图 3 所示,可以看出副栅部分得到明显滤除,且有效保留了划痕部分。



(a) 滤波前灰度图像 (b) 滤波后灰度图像

图3 CO滤波器处理

2.2 图像分割

图像分割是指从一幅图像背景中获取目标物体的过程^[7]。阈值处理是一种简单的形状提取技术,也是最常用的图像分割方法。阈值处理的一种明显方式是选择一个阈值 T ,对于灰度图像 $f, f(x, y) > T$ 的任何点 (x, y) 称为一个对象点;否则将该点称为背景点。当 T 是一个适用于整个图像的常数时,该公式给出的处理称为全局阈值处理;当 T 值在一幅图像上改变时,则称为可变阈值处理。

阈值 T 可以通过 Otus 法求取。Otus 最佳全局阈值^[8]是一种基于直方图计算的方法,在类间方差最大时最佳。实验中,预处理已经改善了光照不均和反射对阈值处理的影响,直接使用 Otus 算法求得最佳全局阈值 T ,设定权数 $b=0.5$,权数的设置需要在具体实验中根据不同处理对象来确定。分割后的图像 $g(x, y)$ 由下式给出,结果如图 4 所示。

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) < \text{gray thre sh}(f) * 0.5 \\ 0, & f(x, y) \geq \text{gray thre sh}(f) * 0.5 \end{cases}$$

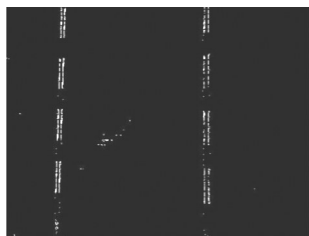


图4 图像分割结果

基于可变阈值方法的移动平均灰度和图像分块处理^[2]也可有效消除光照和反射影响,但这两种方法对于本实验所处理图像效果不佳,且算法复杂。

2.3 划痕定位及求解

阈值处理后得到的二值图像虽然能够反映出划痕缺陷部分,如图 4 所示,但还存在一定噪声干扰,继续进行形态学滤波处理时,若结构元素尺寸过大则无法很好地滤除噪声,若结构元素尺寸过小又会导致划痕细节丢失。因此在本实验中考虑将划痕定位和面积求解分开进行。

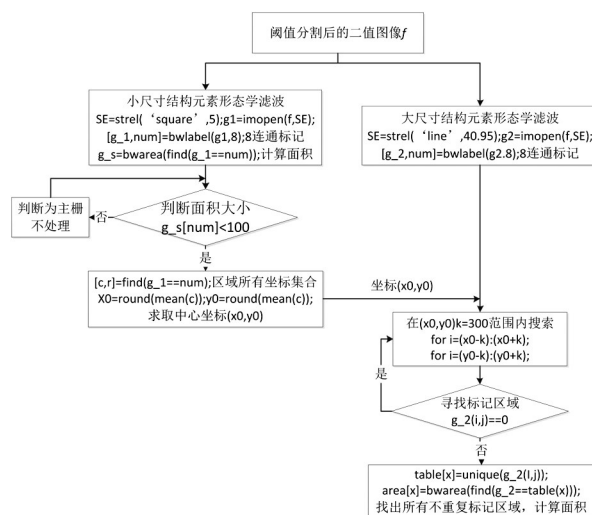


图5 划痕定位及面积求解流程图

图 5 为划痕定位及面积求解的流程图,首先是划痕定位处理。划痕定位是将二值图像 f 用较小尺寸结构元素进行形态学滤波,最大可能的去除噪声点干扰,划痕部分只留下极小区域。然后用 8 连通标记,并计算每个连通区域的面积,比较各连通区域面积可以将大面积区域判定为主栅部分不予考虑,面积较小区域可判定为划痕位置,求解出其中中心坐标 (x_0, y_0) ,该坐标即为划痕区域的定位坐标,如图 6a 中所示红色标记点位置。

第二步是面积求解。二值图像 f 用较大尺寸的结构元素进行形态学滤波,适度去噪同时尽可能保留划痕细节,如图 6b 所示。同样对图像进行 8 连通标记,在缺陷定位坐标 (x_0, y_0) 的 $k=300$ 的邻域内进行搜索,找出该领域范围内所有不重复的标记区域即为划痕缺陷区域,图 6c 中框选区域即为划痕区域,计算连通区域面积即可得到划痕面积。

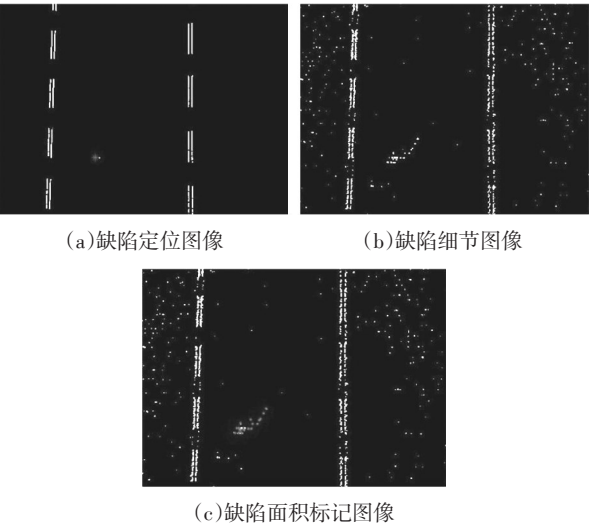


图6 划痕定位及面积求解处理图像

3 结果

图7a为原始划痕图像,图7b为划痕检测结果(图中框选位置),通过面积求解算法可以得到缺

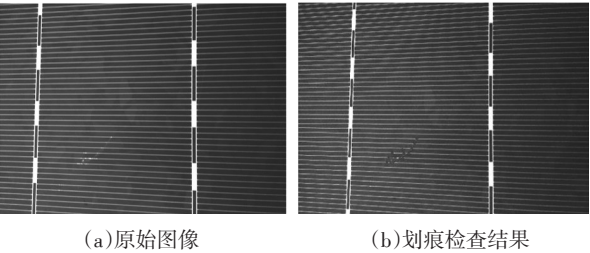


图7 原始图像及划痕检测结果

陷面积,数据结果见表1所示。需要注意的是所计算出的面积单位为像素,在获取采集图像像素后可以转换为实际面积。

表1 划痕缺陷面积(像素)

连通区域	面积(像素)	连通区域	面积(像素)	连通区域	面积(像素)
1	283	7	441	13	194
2	67	8	816	14	173
3	240	9	179	15	66
4	224	10	262	16	173
5	268	11	74	17	185
6	159	12	248	18	342

4 结语

太阳能电池板缺陷检测在生产过程中必不可少,本文中针对划痕检测易受副栅影响这一问题,根据形态学滤波器能够获取特定几何特征的特性,经结构元素优化处理,更为准确的滤除了副栅,并且在后续检测中通过分别定位和检测,更好的保留了划痕缺陷细节,检测结果更为准确。在检测过程中,为提高形态学滤波器的适应度以适应不同复杂背景下的滤波处理,结构元素优化问题有待完善,例如可以采用遗传学算法^[9-11]来进行结构元素优化。

参考文献:

[1] 王楠. 太阳能电池板破损在线检测系统的研究[D]. 保定:河北农业大学,2011.

[2] Rafael C.Gonzalez ,Richard E.Woods. 数字图像处理[M]. 第2版. 北京:电子工业出版社,2013.

[3] 余永维,殷国富,蒋红海等. 磁瓦表面图像的自适应形态学滤波缺陷提取方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2012, 24(3):351-356.

[4] 戴勇,周成平,钟克洪等. 一种基于数学形态学的墙地砖表面缺陷检测方法[J]. 计算机工程与应用,2003,39(10):220-222.

[5] 耿帅. 基于数学形态学的图像去噪[D]. 济南:山东师范大学,2012.

[6] Rafael C.Gonzalez ,Richard E.Woods. 数字图像处理(MATLAB版)[M]. 第2版. 北京:电子工业出版社,2014.

[7] Mark S. Nixon, Alberto S. Aguado. 特征提取与图像处理[M]. 第2版. 北京:电子工业出版社,2012.

[8] NOBUYUKI OTSU. A threshold selection method from gray level histograms[J]. IEEE Trans on SMC, 1979,9(1): 62-69.

[9] 王志美,陈传仁. 遗传算法理论及其应用发展[J]. 内蒙古石油化工,2006,(9):44-45.

[10] 陈果,邓堰. 遗传算法特征选取中的几种适应度函数构造新方法及其应用[J]. 机械科学与技术,2011,30(1):124-132.

[11] Harvey Neal R, Marsh all Stephen. The use of genetic algorithms in morphological filter design [J].Signal Processing: Imaging Communication, 1996,8(1):55-71.