

# 利用图像直方图多阈值分割实现 LED 芯片焊盘快速检测研究

陈少山, 符明, 赵思锐, 李静, 李善德

(西昌卫星发射中心, 海南 文昌 571300)

**摘要:** 针对 LED 芯片下底部填充胶贴合情况焊盘检测, 研究了一种利用直方图曲线极小值点作为分割阈值的灰度图像多阈值分割方法; 通过对 X-ray 检测机采集的 LED 芯片下底部填充胶贴合情况图像直方图曲线的平滑处理和条件判断, 寻找满足预期的波峰波谷, 将对应的极小值点作为分割阈值, 实现图像的多阈值快速分割方法; 相比 OTSU 方法多阈值分割和区域生长算法, 该方法计算复杂度较低, 在 LED 芯片下底部填充胶贴合情况焊盘的识别和分割过程中, 分割耗时不到 OTSU 方法和区域生长算法的百分之一, 分割效果相比 OTSU 方法更好, 而且针对图像整体灰度的差异, 具有较强的自适应性, 满足工业生产线对高 UPH 的要求; 表明该方法在处理直方图曲线具有明显波峰波谷的图像分割时具有显著的速度优势。

**关键词:** 多阈值分割; LED 芯片焊盘; OTSU 算法; 直方图; 曲线极值法; UPH

## Research on Fast Detection of LED Chip Solder Pads Using Multi-threshold Segmentation of Image Histograms

CHEN Shaoshan, FU Mingming, ZHAO Sirui, LI Jing, LI Shande

(Xichang Satellite Launch Center, Wenchang 571300, China)

**Abstract:** For the inspection of solder pads for underfill adhesive bonding condition of LED chips, this paper investigates a method for the multi-threshold segmentation of grayscale image using the local minimum points of histogram curve as a segmentation threshold. By smoothing the histogram curve of the images of the LED chip's underfill adhesive bonding condition collected by the X-ray inspection machine and judging the conditions, the expected peaks and valleys are identified, and the corresponding minimum points are used as segmentation thresholds to achieve a multi threshold rapid image segmentation method. Compared with the OTSU method, the multi threshold segmentation and region growing algorithm, this method has lower computational complexity. In the identification and segmentation process of solder pads under the LED chips with the underfill adhesive bonding condition, the segmentation time of this method is less than one percent of those of the OTSU method and region growing algorithm, and this segmentation effect is better than that of the OTSU method. Moreover, it has strong adaptability to the overall grayscale differences of images, meeting the requirements for high units per hour (UPH) in industrial production lines. This indicates that the method has significant speed advantages over other methods of the segmenting images with obvious peaks and valleys in processing histogram curves.

**Keywords:** multi-threshold segmentation; LED chip solder pads; OTSU method; histogram; curve extremum method; UPH

## 0 引言

在计算机视觉中, 图像分割作为一种重要的图像分析技术, 在图像识别、图像 3D 重构等领域得到了广泛

的应用, 其目的是为了将图像中有意义的特征或者需要应用的特征提取出来。有些图像分割理论认为图像实际上是由信息与噪声组成, 分割的目的是把噪声剥离开, 但还有较多的应用场合是为了寻找感兴趣的景物边界,

收稿日期:2025-01-08; 修回日期:2025-02-19。

作者简介:陈少山(1987-), 男, 博士, 工程师。

引用格式:陈少山, 符明, 赵思锐, 等. 利用图像直方图多阈值分割实现 LED 芯片焊盘快速检测研究[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(11):97-103,132.

需要分割出来的是前景图像的一部分<sup>[1-2]</sup>。图像分割出来的部分，其内部特征、属性是相似的，或与不同区域有显著的差异性，比如当前最广泛应用的医学图像分割，利用图像分割算法将肿瘤区域与正常组织区域分割开来，从而实现对肿瘤的定位和诊断。目前常用的分割算法按分割标准可以分为基于阈值的图像分割，比如 OTSU 方法<sup>[4-6]</sup>；基于聚类的图像分割，比如模糊 C 均值算法<sup>[7-8]</sup>；基于区域生长算法的图像分割，比如分水岭算法<sup>[9]</sup>。基于深度学习的图像分割，比如 Meta 公司 2023 年 4 月 6 日推出的视觉大模型 SAM (Segment Anything Model)，能够根据文本指令等方式实现图像分割，类似于交互式分割，解决了深度学习中训练集标记的困难，号称可以分割一切，有较强的零样本学习能力，能够快速实现图像多目标的快速分割<sup>[10-12]</sup>。

尽管研究者们提出了各种分割理论和方法，但是目前没有一个通用的分割方法，实际应用中也没有选择合适方法的标准，更没有哪一种分割算法对所有图像均可实现满意的分割结果。目前影响图像分割方法性能的因素包括噪声、目标大小、目标方差、均值差、对比度以及背景方差等，通常仍然依据主观视觉效果来评价分割的性能，对于灰度图像分割，按照是否需要参考图像，将分割质量评价分为主观评价准则和客观评价准则<sup>[13-14]</sup>。

当图像对处理速度要求不高时，这几类算法均取得了较好的分割效果，比如聚类分割和区域生长算法在医学、遥感图像处理领域得到了较广泛的应用<sup>[15-16]</sup>。但是，聚类算法和区域生长算法属于迭代算法，随着图像像素的增大，计算量将成倍的增大，不适用于对计算速度要求高和图像较大的场景。Otsu 方法通过最小化图像类内方差和类间方差的加权和，求出一个最优的阈值，从而实现自动计算二值化阈值的目的<sup>[17-20]</sup>。由于 Otsu 方法在阈值选取操作时可以避免主观性、繁琐性，同时计算速度优于聚类算法和区域生长算法，在人脸识别、字符识别、图像分割等领域得到了广泛的应用<sup>[21-23]</sup>。基于直方图的阈值分割由于实现简单，可以压缩数据从而减少存储量，在注重运行效率的应用场合得到了广泛的应用。如果图像直方图信息中具有两个明显的彼此分离的波峰，此时阈值分割就是根据两个峰之间的阈值点对图像二值化。然而，现实图像中目标与背景之间有可能具有比较宽的相互重叠的范围，图像直方图将不会有明显的分离的波峰，而且，利用像素估计直方图信息中，像元点数具有的小样本特性使得直方图本身是含噪的，因此基于阈值分割在实际应用中往往面临较多的困难<sup>[24-27]</sup>。以 PPSSeg 和 SAM 模型为代表的深度学习图像分割技术，具有很强的零样本和少样本学习能力，理论上，传统图像分割方法适用的地方，它均可适

用。SAM 算法在自然图像的分割上取得了显著的效果，目前在医学图像领域取得了一定的进展，但还面临较大的挑战，只有交互式医学图像分割有显著的应用价值。同时，当前深度学习分割技术除了对技术要求极高外，零样本学习仍有较大的局限性，需要大量的样本进行训练，以及极大的算力支撑，一般不适用于需要快速分割的工业领域<sup>[28-33]</sup>。因此，当图像分割速度要求高和算力成本有限时，必须基于传统的图像像素等特征设计分割算法。

在工业领域，比如流水线上，图像分割常常作为质检等领域图像处理的第一步，避免图像处理时在整幅图上盲目的检索，这类处理往往需要有极快的速度和较高的精度，以及较低的算力设备支撑，以满足工业领域高 UPH (Units Per Hour) 要求。同时，工业生产线因为光照、设备老化、机台差异等，不同时间、不同产线采集的图像整体色彩和灰度值会有较大的差异，无法提前预知前景像素和背景像素的差异，因而要求图像分割算法必须对此具备一定的自适应性。为了满足工业生产中对处理速度和自适应的要求，论文采用了基于阈值的图像分割方法，由于所处理图像前景和背景不属于单一像素范围，需要实现图像多阈值分割，论文采用了 OTSU 多阈值方法类似的分割方法，融合了 Prewitt 提出的基于双峰直方图的阈值选取算法<sup>[34]</sup>，相比双峰直方图方法扩展了图像直方图中波峰个数，根据图像实际包含的像素组成和分割需要，确定波峰数。为了提升处理的速度，利用图像直方图曲线极值点确定图像分割阈值，通过阈值分割满足了极高的 UPH 要求。

## 1 图像直方图

大部分的阈值分割算法均是利用图像灰度直方图曲线上的波谷来选取分割阈值<sup>[35-36]</sup>。对于灰度图像，直方图统计了图像内各个像素出现的次数，反映了图像灰度统计特征与灰度之间的函数，因其计算代价小，目前图像直方图已经被广泛用于图像处理，尤其是灰度图像的阈值分割、直方图均衡化实现图像特征增强等。直方图均衡化计算简便、处理速度快，尤其对于人脸识别，图像特征增强效果特别明显<sup>[37]</sup>。

利用直方图实现图像阈值分割得到了广泛的应用，其中最典型的是 OTSU 法，OTSU 法也叫最大类间方法，目标是使得分割后背景和前景之间的方差最大。当前大部分的 CV 软件都集成了 OTSU 算法 API，比如 OpenCV 中 cv2.threshold () 函数参数 type 选用 cv2.THRESH\_OTSU 即可实现图像 OTSU 方式的阈值分割。如图 1~3 所示，分别为原始图像和采用 OTSU 法进行二值化后的图像，二值化的阈值分割点为 92.0，OTSU 法较好的将轮船分割出来，将轮船作为前

景, 将天空和海水统一归为背景。如果需要将海水或者天空分割出来, OTSU 法就会存在较大的困难, 不能将天空或海水简单的作为前景或背景, 此时需要采用多阈值分割方法。



图 1 原始图像



图 2 OTSU 法二值化分割后前景图像

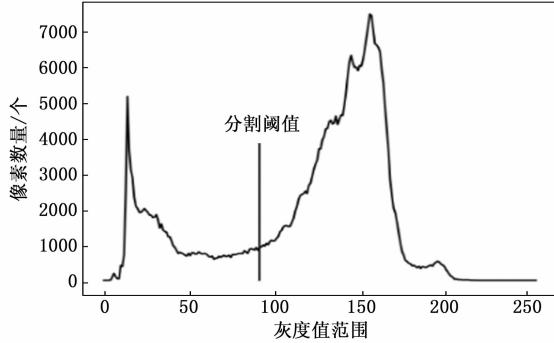


图 3 直方图中 OTSU 法阈值分割点

## 2 OTSU 算法阈值分割

### 2.1 OTSU 算法

在图像处理时, 通常需要将图像进行分割, 确定图像的前景和背景, 阈值分割就是图像的二值化, 因此需要确定阈值分割点, 目前比较常用的方法是 OTSU 算法。

OTSU 算法将前景和背景分割的阈值记为 Threshold, 图像总体平均灰度为  $\mu$ , 属于背景和前景的像素点占整幅图像像素点数的比例分别为  $\omega_0$ 、 $\omega_1$ , 背景和前景像素平均灰度值分别为  $\mu_0$ 、 $\mu_1$ , 类间方差为  $\sigma_{\max}^2$ , 则遍历每一个像素值  $\in [0, 255]$ , 使得类间方差最大的值即为最佳分割阈值, 如下公式所示<sup>[37-38]</sup>。该方法算法原理简单, 各类 CV 软件均有成熟的 API 可调用, 得到了广泛的应用:

$$\sigma_{\max}^2 = \omega_0 \times (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 \times (\mu_1 - \mu)^2$$

$$\text{其中: } \omega_0 + \omega_1 = 1, \omega_0 \times \mu_0 + \omega_1 \times \mu_1 = \mu.$$

### 2.2 OTSU 算法多阈值分割

对于部分图像, 前景包含多个灰度值范围, 比如同一幅图中有猫狗鸡鸭, 需要分割出每一种动物。如果要分割确定的某前景, 比如狗, 需要根据不同的前景灰度值进行多次分割, 即多阈值分割。对于多阈值图像分割, OTSU 算法同样适用, 比如某图像包括背景和两个不同灰度范围的前景, 需要将图像分割为 3 个区域, 只

需要将之前两个类的类间方差更改为 3 个类即可。

同 2.1 节算法, 只需增加前景 2, 前景 2 像素点所占比例和平均灰度值分别为  $\omega_2$ 、 $\mu_2$ , 使得类间方差最大的两个值即为前景 1、前景 2 最佳分割阈值, 如公式所示<sup>[39-40]</sup>:

$$\sigma_{\max}^2 = \omega_0 \times (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 \times (\mu_1 - \mu)^2 + \omega_2 \times (\mu_2 - \mu)^2$$

$$\text{其中: } \omega_0 + \omega_1 + \omega_2 = 1, \omega_0 \times \mu_0 + \omega_1 \times \mu_1 + \omega_2 \times \mu_2 = \mu.$$

### 2.3 OTSU 算法多阈值分割局限性

在大部分工业领域中, 阈值分割只是图像处理的第一步, 分割出感兴趣的部分, 后续将实现更复杂的处理, 要求必须实现图像的快速分割。OTSU 算法原理清晰简单, 实际应用中易于实现, 但是存在多个不足。OTSU 算法因为涉及对图像每一个像素点的差方处理, 以及每一个灰度值的穷举计算, 计算量相对较大, 当图像较大时, 尤其是多阈值分割将占用较长的时间; OTSU 算法要求图像前景必须在整幅图像占较大的比例, 才能准确计算出分割阈值; OTSU 算法分割未考虑各像素的灰度分布, 只考虑其灰度值, 当待分割图像有较多的灰度级时, 分割的效果和合理性就降低了。虽然众多学者针对 OTSU 算法的局限性提出了很多改进和优化, 比如二维 OTSU 算法。但是 OTSU 算法运算量大、耗时长, 不满足快速分割的要求, 依然制约了它的更广泛应用<sup>[41-42]</sup>。

如图 4 所示是 X-ray 检测机采集的白光 LED 下底部填充胶贴合情况图像, 采用韩国 SEC (赛可) SF160 型开管 X 光机电子元件检测机采集, 图像大小 1 000 × 1 400 像素 (pix), 采集分辨率 7.2  $\mu\text{m}/\text{pix}$ , 采集图像视野范围 7.2 mm × 10.08 mm。每一个圆形代表了一颗 LED 芯片, 单张图像覆盖了 3 × 5 共 15 颗 LED 芯片, 需要检测每一颗芯片填充胶的贴合情况, 即芯片中间焊盘 (中间四方形部分) 是否缺失以及焊盘的空洞率检测。因为 X-ray 拍照时芯片在整幅图中的相对位置不固定, 而且有可能部分芯片偏移出视场范围, 无法呈现 3 × 5 共 15 颗 LED 芯片的完整图像。因此, 无法根据像素位置快速识别焊盘的位置, 需要分割出每一个焊盘图像, 然后进行焊盘贴合度的检测。单幅图像大小为 1 452 pix × 1 000 pix, 分辨率 7.2  $\mu\text{m}/\text{pix}$ , 单通道 8 位灰度图像, 图 4 图像灰度平均值 159.7。如果采用 OTSU 算法实现多阈值分割, 图像分割需要耗费约 0.5 秒/张, 加上图像采集传输、后处理约 0.5 s/张, UPH 不超过 36 K, 这与生产线速度不匹配。

因为该图像分割对精度要求不高, 图像分割作为焊盘贴合情况检测的第一步, 焊盘边界属于规则的矩形, 边界可借助其它方法精确确定, 阈值分割的作用主要是

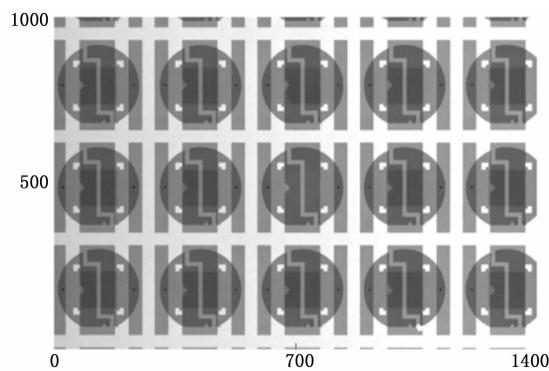


图 4 LED 下底部填充胶贴合情况 (1 000 pix×1 400 pix)

确定焊盘的有无和相对位置,因此焊盘的分割必须以极快的速度完成。为了实现图像多阈值快速分割,快速确定焊盘的位置,利用图像直方图曲线的极值点作为分割阈值。利用直方图曲线实现图像分割,相当于将图像数据的二维矩阵转换为一维向量,压缩了数据,降低计算复杂度和运算量实现快速分割,从而匹配生产线高 UPH 要求。

### 3 直方图技术快速分割

#### 3.1 直方图曲线

考虑利用图像的直方图曲线极值点实现图 4 的多阈值快速分割,首先获取 LED 下底部填充胶贴合情况图像的直方图曲线,如图 5 所示。该直方图曲线有多个波峰波谷,对应多个灰度级范围,从直方图原理可知,该原始图像有对应的多个灰度值范围的图像成分,每个波峰部分对应该灰度范围的图像成分。如果将图像根据直方图曲线的多个波峰划分为多个灰度值范围,就可以实现图像根据灰度范围的分割。理论上,直方图曲线最靠近灰度值 0 的波峰部分,对应原始图像中灰度值最接近 0 (颜色最深) 的图像部分。如图 4 所示,焊盘 (中间矩形) 对应的部分是整幅图中颜色最深的部分,只需分割出直方图曲线第一个波峰对应的图像,即可分割出焊盘部分。

工业生产线因为光照、设备老化、机台差异等,不同时间、不同产线采集的图像整体色彩和灰度值会有较大的差异,在 LED 下底部填充胶贴合情况图像中,不同的 X-ray 机台采集的图像、同一台机台不同时间采集的图像,可能灰度值存在整体的差异,因此固定阈值分割不可能。利用像素估计直方图信息中,像元点数具有的小样本特性使得直方图本身是含噪的,如图 5 所示,焊盘的背景和边缘存在明显的噪声,但是这些噪声未改变波峰和波谷在直方图曲线上的相对分布,不会影响图像成分的分布,即焊盘成分对应的灰度级范围相对位置不变。

直方图曲线包含多个波峰,要将各个波峰分割开

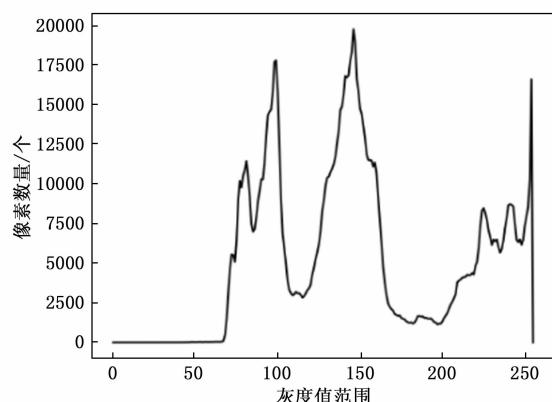


图 5 LED 下底部填充胶贴合情况图像直方图曲线

来,只需根据波谷位置即寻找曲线中的极小值点,将极小值点作为图像分割阈值,利用每相邻的两个极小值点就可以划分出对应的波峰。根据不同的需要,选取不同的极小值点组合,分割需要的部分。

#### 3.2 直方图曲线极小值点阈值分割

为了寻找直方图曲线的极点,首先采用平均滤波器对直方图曲线进行一定的卷积平滑,去除部分毛刺。如图 6 所示,浅色曲线是原始的直方图曲线,深色曲线是平滑后的曲线。从左至右共找到 7 个极小值点,第 4 和 5 两个极小值点中间波峰较小,中间包含的图像成分很少。可设置满足一定阈值的波峰为真实波峰,将第 4 和第 5 两个极值点去掉一个,或者第 6、第 7 两个极值点也不满足真实波峰要求。因此,本图有效分割极值点共 3 个,分别是第 2、3、5 个极值点,对应的波峰共 4 个,图像共有 4 个灰度值成分。也可通过反复的低通滤波,直到直方图中恰好剩下预期的波峰数,然后利用极值确定阈值。在实际处理中,可以根据实际情况确定直方图中合理的波峰数,通过滤波或设定判据剔除掉较小的波峰波谷选取有价值的极小值点。最后根据预期图像分割部分的对应波峰,从保留的极小值点中选取分割阈值,进而实现图像的多阈值快速分割。

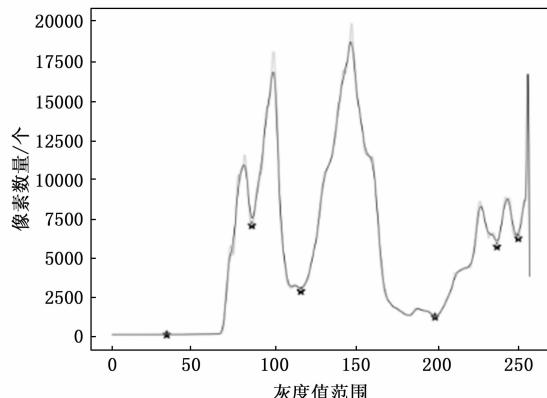


图 6 图像直方图曲线极点示意图

在整幅图像中, LED 焊盘部分是颜色最深的部分, 灰度值最接近 0, 因此该部分属于图像直方图中最靠近灰度值 0 的波峰成分, 因此选定极小值点 1 和 2 作为焊盘部分的分割阈值。采用阈值分割法分割出图像中灰度值在极值点 1 和极值点 2 之间的部分, 恰好是图像中 LED 焊盘部分主体和部分噪点, 如图 7 所示。利用分割出的图像可以快速判断该图像包含  $3 \times 5$  个焊盘, 其中, 第 2 行第 3 列的焊盘缺失, 同时也可以快速确定各个焊盘的大致位置, 为后续精确确定焊盘边界提供支撑。在普通 PC (Intel Core i5-8250U CPU, 8 G 内存) 上, 论文所有程序均采用 Python 语言编写, 采用自适应寻找极值点、并分割焊盘处理图 4 的总时间为 0.012 9 s。

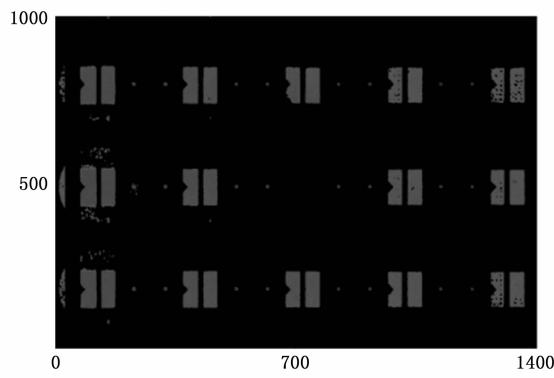


图 7 利用直方图曲线极值点快速阈值分割法  
得到的焊盘图像 (1 000 pix  $\times$  1 400 pix)

### 3.3 处理结果

确定焊盘缺失情况和大致位置后, 后续的图像处理过程即精确确定焊盘边界和计算焊盘贴合情况。如图 8 所示是最终焊盘贴合情况计算结果和判定结果, 采用该方法实现了焊盘快速分割, 处理精度与 OTSU 多阈值分割算法相当, 低于区域生长算法。整个处理过程包括后续焊盘贴合情况计算 UPH 可达 70 k 以上, 大幅提升了产线匹配效率。

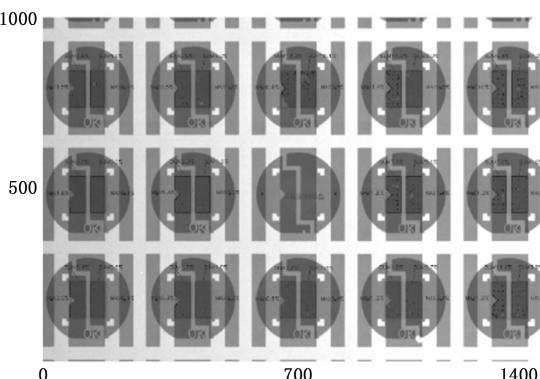


图 8 LED 下底部填充胶贴合情况最终  
处理结果 (1 000 pix  $\times$  1 400 pix)

本例中白光 LED 下底部填充胶在 X-ray 下的图像属于边界较清晰的灰度图像, 论文又分别采用 OTSU 多阈值分割法和区域生长法进行图像分割对比分析。

### 3.4 OTSU 多阈值分割的结果

本例中图像采用 OTSU 单阈值法无法分割出焊盘。使用 OTSU 双阈值处理结果如图 9 所示, 图像被分割成了 3 个像素成分, 在同一台 PC 机上处理单张图片耗时 2.936 s, OTSU 双阈值分割方法的耗时为直方图多阈值分割的数百倍。从结果可以看出, 双阈值法无法准确判断焊盘有无, 根据图 5 图像灰度像素成分, 至少需要采用三阈值分割才有可能准确分割出焊盘图像, 如果采用更多阈值分割, 算法复杂度和处理时间将大幅提升, 处理效率极低, 在工业应用中失去应用价值, 无法满足产线 UPH 要求。

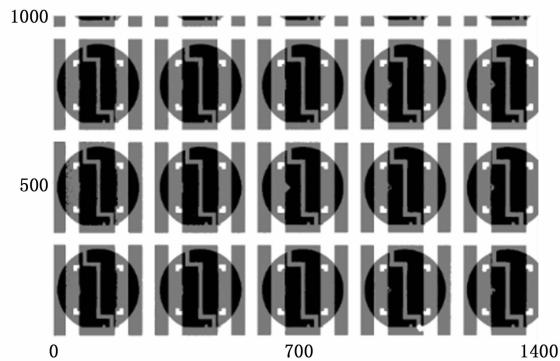


图 9 使用 OTSU 双阈值处理结果 (1 000 pix  $\times$  1 400 pix)

### 3.5 区域生长法分割结果

本例图像中 LED 焊盘部分是颜色最深的部分, 一张图像中分布多个 LED 焊盘, 贴合效果较好的焊盘图像区域整体灰度值相近, 属于特征相近的连通区域, 适合采用区域生长算法进行焊盘图像的分割。

理论上, 如果知道焊盘的数量, 就可以确定种子点的数量, 如图 7 所示, 一个焊盘包括 PN 两个部分, 图中共有 30 个焊盘区域, 设置种子点的数量为 30, 生长的终止条件为最大区域面积像素值。但是当设置种子点为 30 时, 实际的分割效果不好, 因为该图像缺少一个焊盘, 而且, 焊盘周围非贴合区域存在和贴合区域像素相近的区域, 还有可能存在部分不完整的焊盘。因此, 考虑将种子点增大为 36, 生长的终止条件为最大区域面积 10 800 像素。该算法分割效果比直方图曲线极小值点阈值分割法和 OTSU 双阈值分割法好, 在同一台 PC 机上处理单张图片耗时 9.016 s, 如图 10 所示。

## 4 实验结果与分析

论文研究的方法在福建泉州湖头光电产业园某 S 企业陶瓷倒装荧光膜白光 LED 产线上测试。图像采用韩国 SEC (赛可) SF160 型开管 X 光机电子元件检测机采

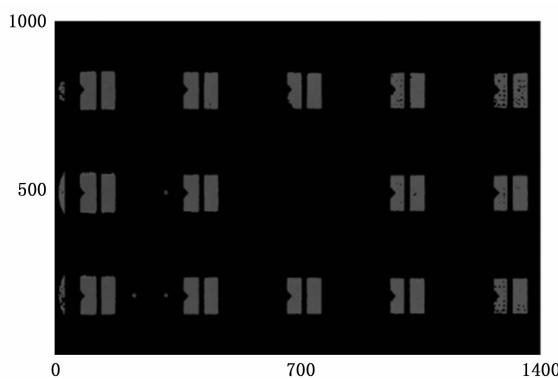


图 10 区域生长法处理结果 (1 000 pix×1 400 pix)

集, 设备最高分辨率  $0.9 \mu\text{m}/\text{pix}$ , 设置采集分辨率为  $7.2 \mu\text{m}/\text{pix}$ , 采集图像大小  $1 000 \text{ pix} \times 1 400 \text{ pix}$ , 图像视野范围  $7.2 \text{ mm} \times 10.08 \text{ mm}$ 。测试用 PC (Intel Core i5-8250U CPU, 8 G 内存), UPH 为产线实测。

#### 4.1 不同分割算法的结果对比

OTSU 多阈值分割方法和区域生长算法, 均对焊盘实现了较好的分割, 如表 1 所示。尤其是区域生长算法分割效果最好, 但是区域生长算法属于迭代算法, 种子点越多, 计算量越大, 单张图像耗时超过 9 s, 耗时远不符合工业生产 UPH 要求。对于区域生长算法而言, 如果将种子点设置过多, 存在过度分割的风险, 而且计算时间最长, 是 OTSU 双阈值法耗时的 3 倍, 虽然分割精度较高, 但是综合 UPH 低于 400, 对于工业生产无法接受。另外, 如果因为工业生产线上不同的工况或不同的 X-ray 机台采集的图像之间图像整体灰度值差异较大时, 种子点还需人工设定。OTSU 算法分割效果满足要求, 双阈值分割单张图像耗时 2.936 s, 综合 UPH 低于 1 k, 依然不满足工业生产 UPH 要求。本文提出的利用直方图曲线实现多阈值分割 UPH 可达 70 k 以上, 极大的便利了工业生产效率的提升。

表 1 不同分割方法效果对比

序号	分割方法	分割耗时(秒)	UPH	分割准确性
1	OTSU 双阈值法分割	2.936	$<1 \text{ k}$	较差
2	OTSU 多阈值分割	$>2.936$	$\approx 1.2 \text{ k}$	好
3	区域生长算法分割	9.016	$<0.4 \text{ k}$	最好
4	直方图曲线极小值点阈值分割	0.0129	$\geq 70 \text{ k}$	好

#### 4.2 不同灰度值图像的自适应性

当生产线上不同的工况或不同的 X-ray 机台采集的图像之间图像整体灰度值差异较大时, 图像中对应的灰度成分不变, 直方图曲线依然存在明确的波峰波谷, 焊盘所在的图像成分对应的波峰部分只是灰度值绝对值发生了变化, 相对整幅图像的相对位置没有改变。因此, 极小值点阈值分割方法依然可以自适应灰度值的变化,

快速实现图像多阈值的分割。如图 11 所示, 该图像整体平均灰度值 226.5, 图 4 整体灰度值为 159.7, 图 12 是采用直方图曲线极值法多阈值处理后的图像, 算法根据图像直方图确定分割阈值, 无须提前预知前景像素和背景的分割范围, 可以实现自适应分割。

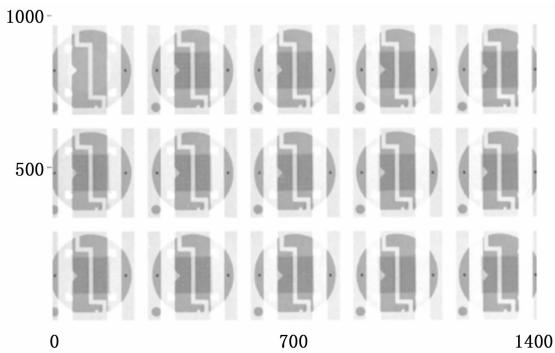
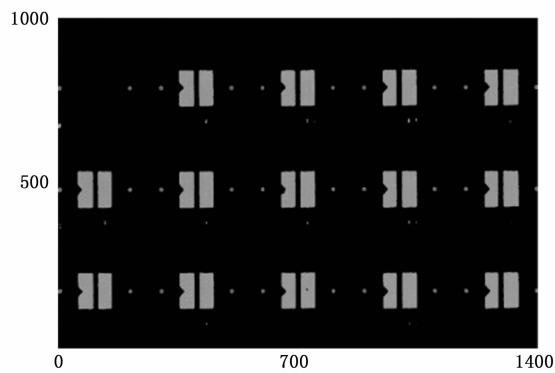


图 11 平均灰度值 226.5 的原始图像 (1 000 pix×1 400 pix)

图 12 平均灰度值 226.5 的图像处理结果  
(1 000 pix×1 400 pix)

### 5 结束语

本文针对 LED 芯片下底部填充胶贴合情况焊盘图像的分割中, 分别采用了 OTSU 算法多阈值分割方法和区域生长算法, 两种算法均对焊盘实现了较好的分割, 但是两种算法计算量较大, 处理速度慢, 耗时不能满足工业产线 UPH 要求。

针对该图像存在多个灰度值范围成分, 直方图曲线存在明显的波峰波谷, 且像元噪声、图像整体灰度差异均不会改变前景图像波峰在直方图曲线中相对位置, 图像分割仅作为图像处理的第一步, 精度要求不严格。论文提出采用图像直方图曲线极小值点作为分割阈值实现图像的多阈值分割。该方法处理精度满足要求, 因计算复杂度较低, 处理速度大幅提升, 在 LED 芯片下底部填充胶贴合情况焊盘的分割过程中, 耗时不到 OTSU 多阈值算法的 1/100, 大幅提升了图像后处理的效率, 整个处理过程 UPH 可达 70 K, 同时针对灰度值差异较大的图像也有较强的自适应性, 较好的满足了工业生产中适当的精度下实现最快效率的综合要求。

图像直方图曲线极小值点阈值分割方法在处理边界较清晰的图像, 且分割精度要求不严格时, 具有较大的优势。尤其是多阈值分割, 可以在较低的算力要求下快速实现图像的多阈值分割, 比如工业生产中对金属产品加工面图像处理时, 该方法可以快速分割出产品。当图像边界不清晰, 或前景区域在灰度分布上不够连贯时, 表现为直方图曲线预期分割点处不存在明显的极小值点, 曲线双峰之间较水平, 该方法可能无法实现理想的分割。

当前人工智能技术快速发展, 深度学习图像技术在医学和工业中得到了快速的推广, 随着模型小型化、零样本学习的发展和算力成本的降低, 深度学习图像分割技术预计将大幅降低类似工业生产中项目开发的难度和时间成本。

#### 参考文献:

- [1] BORSOTTI M, CAMPADELLI P, SCHETTINI R. Quantitative evaluation of color image segmentation results [J]. Pattern Recognit. Lett, 1998, 19: 741–747.
- [2] CREVIER D. Image segmentation algorithm development using ground truth image data sets [J]. Comput. Vis. Image Underst, 2008, 112: 143–159.
- [3] 范九伦. 灰度图像阈值分割法 [M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [4] 申锐京, 刘 翔, 陈海鹏. 基于多阈值 Otsu 准则的阈值分割快速计算 [J]. 电子与信息学报, 2017, 91): 144–149.
- [5] ZHOU L, JIANG F. Survey on image segmentation methods [J]. Appl. Res. Comput, 2017, 34: 1922–1928.
- [6] MA R, ZENG W, SONG G, Yin Q, Xu Z. Pythagorean fuzzy C-means algorithm for image segmentation [J]. Int. J. Intell. Syst, 2021, 36: 1223–1243.
- [7] HASHEMI S E, GHOLIAN-JOYBARI F, HAJAGHAEI-KESHTELI M. A fuzzy C-Means algorithm for optimizing data clustering [J]. Expert Syst. Appl, 2023, 227, 120377.
- [8] CHANG C I, CHEN K, WANG J, et al. A relative entropy-based approach to image thresholding [J]. Pattern Recognit, 1994, 27: 1275–1289.
- [9] RAMON L C, VARSHNEY P K. Image thresholding based on Ali-Silvey distance measures [J]. Pattern Recognit, 1994, 30: 1161–1174.
- [10] 王 森, 黄智忠, 何晖光, 等. 分割一切模型 SAM 的潜力与展望: 综述 [J]. 中国图象图形学报, 2024, 29 (6): 1479–1509.
- [11] 高 兴. 基于深度学习的骶髂关节炎图像分割研究进展 [J]. 软件, 2024, 45 (9): 163–165.
- [12] 郭学丽. 基于改进 V-Net 网络的医学图像精准分割算法的研究 [D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2024.
- [13] XU G, FENG C, MA F. Review of medical image segmentation based on UNet [J]. J. Front. Comput. Sci. Technol, 2023, 17: 1776–1792.
- [14] ZHOU J, YANG M. Bone region segmentation in medical images based on improved watershed algorithm [J]. Comput. Intell. Neurosci, 2022, 3975853.
- [15] 姜 枫, 顾 庆, 郝慧珍, 等. 基于内容的图像分割方法综述 [J]. 2017, 28 (1), 160–183.
- [16] KALIDOS R, ASMA K A, SITI S K, et al. A double clustering approach for color image segmentation [J]. Wirel. Commun. Mob. Comput, 2023, 1039870.
- [17] XING Y, ZHONG L, ZHONG X. Study of clustering algorithms in object tracking and image segmentation [J]. Wirel. Commun. Mob. Comput. 2022, 2022: 1530–8669.
- [18] DEEPARANI K, SUDHAKAR P. Efficient image segmentation and implementation of K-means clustering [J]. Mater. Today Proc, 2021, 45: 8076–8079.
- [19] LI T, XU Y, LUO J, et al. Region-Growing algorithm on CT angiography images for detection of gynecological malignant tumor [J]. Sci. Program. 2021, 2021: 1–7.
- [20] JOE A R, NELSON K B. Adaptive region growing image segmentation algorithms for breast MRI [J]. Int. J. Recent Technol. Eng, 2019, 8: 8729–8732.
- [21] HOOVER A, JEAN-BAPTISTE G, JIANG X, et al. An experimental comparison of range segmentation algorithm [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell, 1996, 18: 673–689.
- [22] LEE S U, CHUNG S Y, PARK R H. A comparative performance study of several global thresholding techniques for segmentation [J]. Comput. Vis. Image Underst, 1990, 52: 171–190.
- [23] LEI T, UDUPA J K. Performance evaluation of finite normal model-based image segmentation technique [J]. IEEE Trans. Image Process, 2003, 12: 1163–1169.
- [24] MARTIN A, LAANAYA H, ARNOLD-BOS A. Evaluation for uncertain image classification and segmentation [J]. Pattern Recognit, 2006, 39: 1987–1995.
- [25] ORTIZ A, OLIVER G. On the use of overlapping area matrix for image segmentation evaluation: a survey and new performance measures [J]. Pattern Recognit. Lett, 2006, 27: 1916–1926.
- [26] PENG R, VARSHNEY P K. On performance limits of image segmentation algorithms [J]. Comput. Vis. Image Underst, 2015, 132: 24–38.
- [27] UNNIKRISHNAN R, PANTOFARU C, HEBERT M. Toward objective evaluation of image segmentation algorithms [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell, 2007, 29: 929–944.

(下转第 132 页)