

基于改进 Canny 算子的 LED 晶片边缘检测

温阳东, 顾倩芸*, 陈雪峰

(合肥工业大学 电气与自动化工程学院, 合肥 230009)

(* 通信作者电子邮箱 gu_qianyun@163.com)

摘要:为了提高全自动固晶机视觉系统中发光二极管(LED)晶片边缘特征的提取精度,提出了一种基于改进非极大值抑制(NMS)过程和双阈值求取方法的 Canny 边缘检测算子。传统的非极大值抑制过程,直接将中心像素点与梯度方向周围邻近的 2 个像素点进行比较,易导致边缘信息不准确。针对该问题,结合中心像素点本身及其梯度方向周围的 3 个像素点,沿着梯度方向进行双线性插值,从而实现改进的非极大值抑制过程;另外,通过对 LED 晶片图像灰度直方图的分析,根据其特有的三峰特性,改进了传统的最大类间方差法,采用 Otsu 双阈值法及新的评价函数求取高低阈值,从而避免传统 Canny 算法中阈值的人工调整。实验结果表明,这种方法适合 LED 晶片的边缘提取,并且能够获得良好的晶片边缘及两极轮廓。

关键词:Canny 算子;边缘检测;双线性插值;Otsu 双阈值;发光二极管晶片

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**A

LED wafer edge detection based on improved Canny operator

WEN Yangdong, GU Qianyun*, CHEN Xuefeng

(School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei Anhui 230009, China)

Abstract: An improved Canny operator was proposed to ensure the accuracy of the Light Emitting Diode (LED) wafer edge detection applied in the vision system of automatic LED die bonder. In the traditional Non-Maxima Suppression (NMS) process, inaccuracy would be caused by selecting two pixels near gradient direction as contrastive points. To solve this problem, bilinear interpolation based on the center pixel and three pixels around was made along gradient direction to implement new NMS process. In addition, the gray histogram of LED wafer was characterized by typical three peaks, and then the high threshold and the low threshold could be got by Otsu dual threshold method with new evaluation function to replace traditional artificial adjustment. The experimental results indicate that greater wafer outline and poles edges can be got by the improved Canny algorithm which is appropriate for LED wafer edge detection.

Key words: Canny operator; edge detection; bilinear interpolation; Otsu dual threshold; Light Emitting Diode (LED) wafer

0 引言

随着发光二极管(Light Emitting Diode, LED)产品的广泛应用,LED 产业迅猛发展,其中 LED 关键设备的研发和引进备受关注。LED 固晶机是将 LED 晶片粘贴到引线框架上的一种自动化设备,其视觉系统能够实现缺陷晶片的检测与分类^[1]。由于图像的边缘通常包含物体关键的几何信息,而且 LED 晶片结构简单,因此在对晶片图像进行缺边、缺角、裂痕等缺陷检测时,可通过提取图像的边缘信息作为晶片分类的重要依据,所以边缘检测至关重要。

传统的边缘检测方法有一阶微分算子(如 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子)和二阶微分算子(如 Laplacian 算子、LoG 算子等)。这些算子优点是算法简单、易于实现,缺点是对噪声敏感、抗干扰能力差^{[2]337}。如果将其应用于 LED 晶片的边缘检测,将会出现图像边缘不连续、出现干扰边缘或图像细节丢失等缺点。目前广泛使用的是基于最优准则的 Canny 算子^[3],该算法具有检测准确、定位精度高等优点,但是传统的 Canny 算法存在高斯平滑滤波器 σ 值固定,高低阈值需要

人为经验设定等缺点^[4-6]。针对这些不足,各种改进的 Canny 算法相继提出:文献[4-6]都改进了高斯滤波器,并分别采用最大类间交叉熵优化算法迭代、最大类间方差法、类间方差与类内方差之比最大的方法确定高阈值,虽然提高了双阈值求取的自适应程度,但都只解决了双阈值之一的自适应求取。文献[7-8]分别将 Canny 算子与数学形态学、小波融合技术交叉使用,虽能弥补 Canny 算子的不足,却增加了运算复杂度。文献[9]首先确定输入图像中自然景象与人工制造元素比例,再设置高低阈值,该方法虽然在提取图像细节方面尤其是数字、字母边缘有突出效果,但应用于 LED 晶片的边缘提取没有明显的优势。本文在分析传统 Canny 算子原理和各种改进 Canny 算法的理论基础上,提出适用于 LED 晶片边缘检测的 Canny 算法。该算法改进了传统 Canny 算法中的非极大值抑制过程,并采用 Otsu^[10] 双阈值法自适应确定高低阈值。

1 传统 Canny 算法原理及分析

在图像边缘检测中,抑制噪声和精确定位是无法同时满足的,Canny 算子力图在抗噪声干扰和精确定位之间寻求最

收稿日期:2013-03-25;修回日期:2013-04-22。

作者简介:温阳东(1955-),男,安徽合肥人,教授,主要研究方向:自动控制、计算机控制、嵌入式系统、电力系统监控、继电保护;顾倩芸(1989-),女,江苏盐城人,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式系统、图像处理;陈雪峰(1988-),女,安徽淮北人,硕士研究生,主要研究方向:电力系统监控、继电保护、调度自动化、图像处理。

佳折中方案,并提出边缘检测的三个准则:信噪比准则、定位精度准则和单边缘响应准则^{[2]338}。

1.1 高斯滤波器平滑图像

Canny 算子首先对图像进行平滑去噪,选用二维高斯函数 $G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)$ 构造滤波器,计算合适的模板,用标准卷积实现高斯平滑。其中: σ 为高斯滤波器参数,控制着滤波的平滑去噪程度。 σ 较大的滤波器,能很好地平滑噪声,但是降低了边缘定位精度; σ 较小时则相反。

1.2 计算梯度的幅值和方向

采用 2×2 邻域一阶偏导的有限差分^[11]来计算平滑后的数据阵列 $I(x,y)$ 的梯度幅值和方向:

$$E_x(i,j) = 1/2[I(i,j+1) - I(i,j) + I(i+1,j+1) - I(i+1,j)]$$

$$E_y(i,j) = 1/2[I(i,j) - I(i+1,j) + I(i,j+1) - I(i+1,j+1)]$$

那么,梯度幅值为:

$$A(i,j) = \sqrt{E_x(i,j)^2 + E_y(i,j)^2}$$

梯度方向为:

$$\theta(i,j) = \arctan[E_y(i,j)/E_x(i,j)]$$

其中: $E_x(i,j)$ 和 $E_y(i,j)$ 分别表示图像 (i,j) 点处 x,y 方向的偏导数; $A(i,j)$ 反映了图像 (i,j) 点处的边缘强度; $\theta(i,j)$ 为垂直于边缘的方向。

1.3 对梯度幅值进行非极大值抑制

为了精确定位边缘,必须细化幅值图像中的屋脊带,即保留幅值局部变化最大的点,该过程就是非极大值抑制(Non-Maxima Suppression, NMS)。一般步骤为:使用 3×3 大小,包含 8 方向邻域的模板作用于幅值阵列 $A(i,j)$ 的所有点,在每个点上,中心像素与沿着梯度方向的相邻 2 个像素进行比较,若在中心点处的幅值 $A(i,j)$ 不大于其梯度方向上的 2 个像素,则认为该处为非边缘点,将 $A(i,j)$ 值赋为 0;反之,则认为该处为初选边缘点, $A(i,j)$ 值不变。

1.4 用双阈值算法检测和连接边缘

使用两个阈值 T_l 和 T_h ($T_l < T_h$):把图像中灰度值小于 T_l 的设为 0,得到阈值边缘图像 $N_l(i,j)$;把灰度值小于 T_h 的设为 0,得到含有少量假边缘但有间断的 $N_h(i,j)$ 。要在 $N_h(i,j)$ 中把边缘连接成轮廓,就要在间断点处寻找 $N_l(i,j)$ 中相应位置的 8 邻点,确定可以连接到间隙上的边缘,直到将 $N_h(i,j)$ 中所有的间隙连接起来为止。 T_h 控制着在梯度图中边缘检测的起始点性质, T_h 值越小,保留的边缘信息就越多,得到的目标边缘就越精细,但是混杂的伪边缘也会增多。随着 T_h 的增加,可以有效地抑制伪边缘,但有可能丢失边缘信息。 T_l 控制着本次检测的终止点性质, T_l 越小,保留的边缘信息就越多,边缘越连续,随着 T_l 的增加,可见的目标边缘特征越少,边缘出现断裂^[12]。传统 Canny 算法求取 T_h, T_l 的方法是:分析图像梯度直方图,按梯度幅值递增方向累加像素点个数,将累加和为图像总个数 80% 处的梯度幅值设为高阈值 T_h ,则 $T_l = 0.4T_h$,但该方法缺乏自适应能力^[13]。

2 改进的 Canny 边缘检测算法

2.1 改进的非极大值抑制

传统的非极大值抑制过程仅比较当前点与梯度方向上相邻两个像素点,而梯度方向并不与邻域像素点一一对应,易产

生随机误差,导致虚假边缘出现^[14]。针对该问题,基于包括中心像素点在内的 4 个像素点沿梯度方向进行双线性插值^[15-16]。对于各中心点 $A(i,j)$,将其周围邻域点分为 4 个象限,根据中心点的梯度方向 $\theta(i,j)$ 判断采用哪个象限中的邻域像素进行插值,具体做法为:

1) 当 $\theta(i,j) \geq 0^\circ$ 时,采用第一、三象限 4 点像素插值,如图 1 所示。

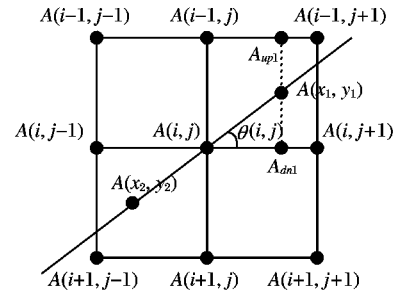


图1 $\theta(i,j) \geq 0^\circ$ 时一、三象限插值方式

第一象限:先沿水平方向进行一次插值计算,权重选择 $\cos[\theta(i,j)]$, 则

$$A_{up1} = A(i-1,j) + \cos[\theta(i,j)] \times [A(i-1,j+1) - A(i-1,j)]$$

$$A_{dn1} = A(i,j) + \cos[\theta(i,j)] \times [A(i,j+1) - A(i,j)]$$

再由 A_{up1} 和 A_{dn1} 沿垂直方向进行第二次线性插值,权重选择 $\sin[\theta(i,j)]$, 则插值点 (x,y) 处的插值结果为:

$$A(x_1,y_1) = A_{dn1} + \sin[\theta(i,j)] \times (A_{up1} - A_{dn1})$$

同理,可求出第三象限 (x_2,y_2) 处的插值结果 $A(x_2,y_2)$ 。若 $A(i,j) \geq A(x_1,y_1)$ 且 $A(i,j) \geq A(x_2,y_2)$, 则 $A(i,j)$ 为极大值点;否则为非极大值。

2) 当 $\theta(i,j) < 0^\circ$ 时,采用第二、四象限 4 点像素插值,得到插值结果。同理若 $A(i,j) \geq A(x_3,y_3)$ 且 $A(i,j) \geq A(x_4,y_4)$, 则 $A(i,j)$ 为极大值点,否则为非极大值。

2.3 自适应动态阈值计算

LED 晶片外形规则,排列整齐,图像主要包含含噪背景、晶片片基、电极 3 类区域。其灰度直方图如图 2 所示,可看出 LED 晶片的灰度直方图具有三峰特性。

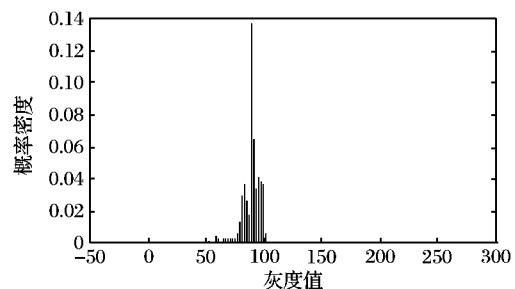


图2 LED 晶片灰度直方图

根据图 2 所示的特有的三峰特性,提出改进最大类间方差法求取双阈值,并引入新的评价函数^[17]。具体实现过程为:

设图像中灰度为 i 的像素数为 n_i , 灰度范围为 $[0, L-1]$, 则总的像素数 $N = \sum_{i=0}^{L-1} n_i$, 各灰度值出现概率为 $p_i = n_i/N$, 且 $\sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1$ 。确定高低两个阈值 T_h 和 T_l ($T_h > T_l$), 这两个阈值将图像分为 3 类区域 C_0, C_1 和 C_2 。 C_0 由灰度值在 $[0, T_l - 1]$ 的像素组成,主要包含非边缘点; C_1 由灰度值在 $[T_l, T_h - 1]$ 的像素组成,既包含非边缘点,也包含边缘点; C_2 由灰

度值在 $[T_h, L-1]$ 的像素组成,主要包含边缘点^[18-19]。

C_0, C_1, C_2 区域的概率为:

$$P_0 = \sum_{i=0}^{T_l-1} p_i \quad P_1 = \sum_{i=T_l}^{T_h-1} p_i \quad P_2 = \sum_{i=T_h}^{L-1} p_i$$

平均灰度为:

$$\mu_0 = \frac{\sum_{i=0}^{T_l-1} ip_i}{P_0} \quad \mu_1 = \frac{\sum_{i=T_l}^{T_h-1} ip_i}{P_1} \quad \mu_2 = \frac{\sum_{i=T_h}^{L-1} ip_i}{P_2}$$

方差为:

$$\sigma_0^2 = \frac{\sum_{i=0}^{T_l-1} (i - \mu_0)^2 p_i}{P_0}$$

$$\sigma_1^2 = \frac{\sum_{i=T_l}^{T_h-1} (i - \mu_1)^2 p_i}{P_1}$$

$$\sigma_2^2 = \frac{\sum_{i=T_h}^{L-1} (i - \mu_2)^2 p_i}{P_2}$$

定义评价函数为:

$$J = \int_0^{T_l-1} (i - \mu_0)^2 p_i di + \int_{T_l}^{T_h-1} (i - \mu_1)^2 p_i di + \int_{T_h}^{L-1} (i - \mu_2)^2 p_i di$$

令 $\frac{\partial J}{\partial T_l} = 0, \frac{\partial J}{\partial T_h} = 0$, 可求出最佳阈值 T_h, T_l 。

3 实验结果及分析

为验证本文算法的有效性,实验中采用像素为 256×256 的灰度图像,利用 Matlab R2008a 工具编程实现。分别用传统 Canny 算法、文献[5]算法及本文算法对 LED 晶片图像进行边缘检测,检测结果如图3所示。图3(a)为原始的LED晶片图像;图3(b)为采用传统 Canny 算子^{[2]341-342}提取边缘的结果,选取 $\sigma = 0.5$, 敏感度阈值上下限为 0.04, 0.08;图3(c)为采用文献[5]改进的 Canny 算法提取边缘的结果;图3(d)为采用本文改进的 Canny 算子提取边缘的结果。

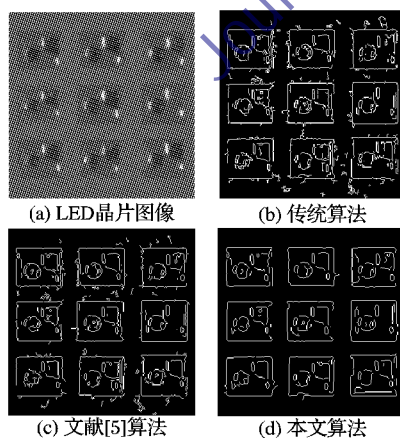


图3 实验结果

从图3可看出:传统 Canny 算法检测出的伪边缘较多,且有部分边缘漏检;文献[5]改进的 Canny 算法一方面采用非线性扩散滤波代替高斯滤波,另一方面采用最大类间方差法实现高阈值的自适应选择,因此得到的边缘信息较完整;本文算法通过双线性插值实现非极大值抑制且自适应确定的高低阈值更精确,因而提取出的边缘细节更加完整,连通性更好,

对虚假的边缘有更好的抑制,从而得到了更准确、更清晰的 LED 晶片边缘及两极轮廓。

4 结语

利用双线性插值和 Otsu 双阈值对传统 Canny 算子非极大值抑制过程和双阈值求取方法进行改进,并应用于 LED 晶片边缘检测,结果表明:改进的算法能有效避免高低阈值必须进行人工设定的弊端,得到精确的边缘,提高了 LED 固晶机的自动化程度。但是在实际 LED 晶片边缘检测中,LED 晶片的图像易受到采集时外界的光照条件的影响,使整幅图像或图像的局部在进行检测时产生漏检或错检,因此对于亮度不同或者对比度不同的图像进行边缘检测时,边缘检测算法还有待进一步研究与改进。

参考文献:

- [1] 吴小锋,刘学平,邹松青.全自动高速固晶机中视觉定位系统设计[J].机械设计与制造,2008(6):57-59.
- [2] 张铮,王艳平,薛桂香.数字图像处理与机器视觉——Visual C++与 Matlab 实现[M].北京:人民邮电出版社,2010:336-343.
- [3] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6):679-698.
- [4] 王卫星,王李平,员志超.一种基于最大类间后验概率的 Canny 边缘检测算法[J].计算机应用,2009,29(4):962-965.
- [5] 苏恒阳,袁先珍.一种改进的 Canny 的图像边缘检测算法[J].计算机仿真,2010,27(10):242-245.
- [6] 戚晓伟,陈秀宏.改进的 Otsu 方法的双边滤波检测算法[J].计算机工程与应用,2012,48(31):150-155.
- [7] 何新英,王家忠,孙晨霞,等.基于数学形态学和 Canny 算子的边缘提取方法[J].计算机应用,2008,28(2):477-478.
- [8] 赵洁,李玮,郝志鹏,等.基于改进 Canny 算子与图像形态学融合的边缘检测方法[J].微型机与应用,2011,30(10):44-47.
- [9] GUPTA A, DALAL R K, GUPTA R, et al. DGW-Canny: an improved version of Canny edge detector[C]// Proceedings of 2011 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2011:1-6.
- [10] OTSU N. A threshold selection method from gray level histogram [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9(1):62-66.
- [11] 贾云得.机器视觉[M].北京:科学出版社,2000:97-100.
- [12] 李华强,喻擎苍,方玫. Canny 算子中 Otsu 阈值分割法的运用[J].计算机工程与设计,2008,29(9):2297-2299.
- [13] 张帆,彭中伟,蒙水金.基于自适应阈值的改进 Canny 边缘检测方法[J].计算机应用,2012,32(8):2296-2298.
- [14] 李旭,王正勇,吴晓红,等.一种改进非极大值抑制的 Canny 边缘检测算法[J].成都信息工程学院学报,2011,26(5):564-569.
- [15] 龚昌来,罗聪,杨冬涛.一种基于边缘方向的双线性插值方法[J].激光与红外,2010,4(7):788-791.
- [16] 金刚.自适应 Canny 算法研究及其在图像边缘检测中的应用[D].杭州:浙江大学,2009:27-31.
- [17] 付忠良.图像阈值选取方法——Otsu 方法的推广[J].计算机应用,2000,20(5):37-39.
- [18] 李钰,孟祥萍.自适应双阈值 Canny 算子的图像边缘检测[J].长春工程学院学报:自然科学版,2007,8(3):44-46.
- [19] 周超.边缘检测 Canny 算子的研究与改进[D].重庆:重庆师范大学,2012:30-33.