

文章编号: 1001-3806(2013)02-0207-04

## 基于图像轮廓分析的 LCD 线路缺陷检测

李昌海 叶玉堂\* 沈淦松 徐 伟 叶 涵 姚景昭  
(电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054)

**摘要:** 为了避免图像配准精度对液晶显示屏(LCD)线路缺陷检测准确率的影响,采用一种基于图像轮廓分析的新方法。基于深度优先搜索寻找图像轮廓,并根据格林公式计算轮廓面积,将待检测 LCD 的线路轮廓面积与标准模板的轮廓面积比较,从而判断是否存在短路、断路、孔洞和孤岛缺陷。该方法不需要图像配准,降低了算法精度要求,从而提高了检测的正确率。通过对 200 片小型 LCD 的测试,检测准确率达 99%。结果表明,该方法可以快速正确地检测出图像上的所有轮廓,并计算出轮廓面积,用面积比较代替传统的图像像素比较,检测短路、断路等缺陷的正确率有了较大提升。该算法在 LCD 线路缺陷检测方面具有很好的应用前景。

**关键词:** 图像处理; 液晶显示屏; 缺陷检测; 轮廓分析; 格林公式

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.02.017

### Inspection of circuit defect on LCD panel based on image contour analysis

LI Chang-hai, YE Yu-tang, SHEN Gan-song, XU Wei, YE Han, YAO Jing-zhao

(Department School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** In order to avoid the impact of image registration precision on detection accuracy, a novel approach for circuit defect inspection on liquid crystal display(LCD) panel was adopted based on image contour analysis. The contours were found by depth first search(DFS), and their areas were calculated according to Green formula. In order to ascertain whether there are any defects such as short, open, hole and island on this LCD, the circuit contours' areas of the LCD to be detected are compared with the areas of standard template. This method needs no image registration, therefore, precision requirement for algorithm is reduced and detection accuracy is improved. Through the experiment on 200 small LCDs, the accuracy comes up to 99%. The results show that all contours are found and their areas are calculated correctly and rapidly. With comparison of areas instead of images, the accuracy of detecting defects such as short and open circuit is improved. This method has great application future in the field of defect detection for LCD circuits.

**Key words:** image processing; liquid crystal display; defect detect; contour analysis; Green formula

### 引 言

近年来,随着液晶显示屏(liquid crystal display, LCD)的广泛应用,生产过程中对 LCD 缺陷的检测变得越来越重要,而自动光学检测技术作为质量检测的重要手段,也已经在 LCD 缺陷检测中得到了应用。LCD 缺陷种类繁多,比如刮痕、杂质、Mura 缺陷以及线路缺陷等<sup>[1]</sup>,本文中讨论线路缺陷的检测。LCD 缺陷检测中常见的检测方法主要有 3 种:参考比较法、非参考校验法和混合法。非参考校验法主要基于数学形

态学操作<sup>[2]</sup>;应用较多的是参考比较法,它基于图像配准和与标准模板作差进行缺陷检测<sup>[3-5]</sup>。这种方法操作简单,可以有效地检测出常见缺陷,但是对配准精度要求很高,同时由于需要事先建立标准模板,内存消耗也较大。例如 KANG 等人提出了一种基于模式比较和边界扩张的方法<sup>[6]</sup>,首先由模式比较得到只包含缺陷的图像,然后对每个缺陷的每个像素作标记,对于同一个缺陷却被划分为多个区域的情况,采用边界扩张的方法进行区域合并,最后分析缺陷区域特征信息。

本文中的方法其优点在于不需要模式比较。该线路缺陷检测算法基于图像轮廓分析,在目标区域提取过程中,采用了一种形态学操作的击中击不中变换(hit-miss transform, HMT)方法,有效准确地提取出了待检测的线路区域。图像轮廓分析是本文中检测算法的核心,在阈值分割之后,进行边缘检测以得到单像素边界,根据这个特点采用基于深度优先搜索的方法来

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61205004)

作者简介: 李昌海(1986-),男,硕士研究生,现主要从事机器视觉方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: ytye@uestc.edu.cn

收稿日期: 2012-07-19; 收到修改稿日期: 2012-08-23

进行边界追踪,以寻找线路图像轮廓,并用离散化的格林公式计算轮廓面积。

### 1 系统组成及预处理

由于LCD线路的线宽线距很小,需要很高的像素分辨率,同时又要保证足够的视场,因此面阵相机很难满足要求。本系统采用线扫描电荷耦合器件(charge coupled device, CCD)相机,有效像素7400;另外,采用直线电机代替传统的旋转电机以提高系统精度。检测系统如图1所示。

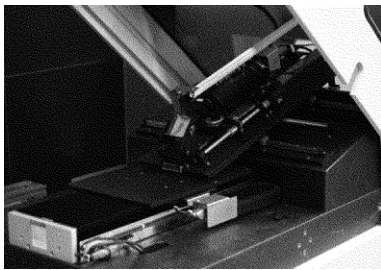


Fig. 1 LCD circuit inspection system

图2展示了该系统采集的1幅LCD线路图像的一部分。图2中画出了 $L_1, L_2$ 两条直线, $L_1$ 和 $L_2$ 之间的区域为所要检测的目标区域, $L_1$ 上面和 $L_2$ 下面部分是由于相机视场因素而多拍摄的图像,因此首先进行目标区域的提取。提取目标区域需要先找到一个定位标志,然后以定位标志为基准点提取出目标区域,LCD上一般采用十字形作为定位标志。本文中采用基于击中击不中变换<sup>[7-8]</sup>的方法来检测十字形的坐标。

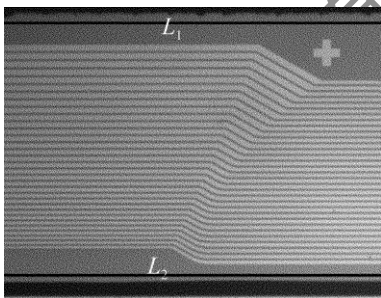


Fig. 2 LCD circuit image

HMT针对二值图像操作,因此先要将线路图像进行阈值分割,然后应用HMT找到十字形定位标志的中心,再根据液晶尺寸,以定位中心为基准点,向上下左右4个方向偏移适当距离提取出目标区域。图3显示了阈值分割后提取出的目标区域图像。

在轮廓分析之前,首先要提取线路单像素边缘,且由于二值化后的线路边缘明确,canny边缘检测即可得到单像素边缘图像。图4为采用canny边缘检测后的结果的局部图。

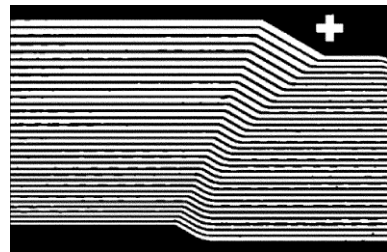


Fig. 3 Target area image

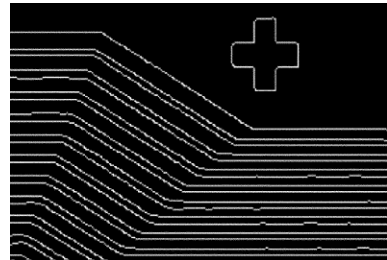


Fig. 4 Result of canny detection

### 2 LCD 线路轮廓分析

#### 2.1 单个轮廓搜索

在液晶线路的轮廓图像中,每一条线路或者一个标志(例如十字形定位标志)的轮廓均为一条封闭曲线。轮廓分析已有相关算法被提出<sup>[9]</sup>,在作者采用的检测方法中,结合LCD线路轮廓的单像素特点,分析时采用八邻域连通的方法,但是在搜索轮廓过程中优先搜索中心像素的左右上下4个像素,然后再搜索4个角的像素,并采用深度优先搜索策略<sup>[10]</sup>。基于八邻域连通的深度优先搜索如图5所示, $p$ 为中心像素,搜寻轮廓时先判断 $p_5, p_4, p_2, p_7$ ,如果没有像素与 $p$ 连通,然后再判断 $p_3, p_8, p_6, p_1$ ;一旦找到一个与 $p$ 连通的像素,例如 $p_5$ ,那么立即停止搜索 $p$ 的其它相邻像素,而以 $p_5$ 为中心继续搜索。

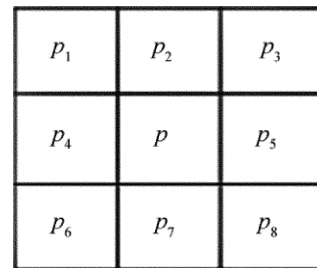


Fig. 5 Eight-connection

在搜索过程中,定义如下数据结构来表示一个轮廓: typedef vector < pair < int, int > > Contour; vector 和 pair 是 C++ 标准库类型, pair < int, int > 表示轮廓上的1个像素,第1个参量为行坐标,第2个参量为列坐标。在搜索过程中每找到一个像素就将其加入到 vector。图6说明了对单个轮廓的搜索过程。

首先定义一个 Contour 对象 contour,假定从  $p_1$  开

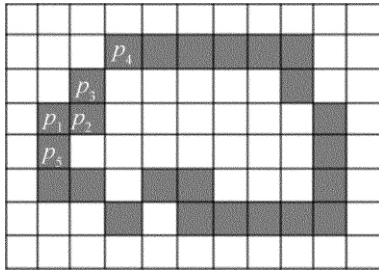


Fig. 6 Process of searching for single contour

始搜索,由于 LCD 线路主要走向是横向,因此先搜索  $p_1$  的左右像素,再搜索上下像素,最后搜索 4 个角的像素;当搜索到一个连通像素  $p_2$  后,根据深度优先策略,停止对  $p_1$  邻域的搜索,即使  $p_1$  还可能与其它连通像素,例如这里的  $p_5$  和  $p_3$ ,将  $p_1$  存入 contour,并将  $p_1$  标记为已搜索;然后以  $p_2$  为中心搜索,虽然  $p_1$  与  $p_2$  连通,但标记为已搜索,因此,将搜索到  $p_2$  的连通像素  $p_3$ ;再以  $p_3$  为中心搜索到  $p_4$ ,如此进行下去。当搜索到  $p_5$  时,发现与其连通的像素均已标记为已搜索,于是对该轮廓的搜索结束。可见,对一个轮廓搜索结束的条件为:某一像素的所有连通像素均标记为已搜索。

### 2.2 轮廓面积计算

当得到一个轮廓的所有像素之后,就能很方便地计算其特征参量,比如周长、面积、质心等。由图 6 可以看出,轮廓的周长即是该轮廓所包含的像素个数,因此可以很方便地计算出来;质心可由质心公式计算,对于图像即是所有像素的坐标平均值。

本文中检测缺陷时需要用到轮廓的面积,对于曲线所围成区域,可以采用格林公式计算其面积,定义如下:设单连通闭区域  $D$  由分段光滑的曲线  $L$  围成,函数  $R(x, y)$  及  $Q(x, y)$  在  $D$  上具有 1 阶连续偏导数,则有:

$$\iint_D \left( \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial R}{\partial y} \right) dx dy = \oint_L R dx + Q dy \quad (1)$$

式中  $L$  是  $D$  取正向的边界曲线。令  $R = -y, Q = x$ , 则可得平面单连通区域的面积公式:

$$S = \frac{1}{2} \oint_L x dy - y dx \quad (2)$$

其中对于二值图像中的连通区域,用差分代替微分,用求和代替积分,可推导出轮廓的面积计算公式。设轮廓由  $m$  个像素点  $R_k(x_k, y_k)$  组成,其中  $k = 1, 2, \dots, m$ ;  $R_{m+1} = R_1; R_1, R_2, \dots, R_m$  沿轮廓正向排列,则面积  $S$  可表示为:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (x_k y_{k+1} - x_{k+1} y_k) \quad (3)$$

如果按轮廓曲线的正向来搜索像素,最后得到的 contour 中的像素点即是按正向排列的,应用上面公式可快速计算出轮廓面积。在计算面积的时候,不管轮

廓内部是否包含其它轮廓,均当做单连通区域处理,因为当一个轮廓内部包含其它轮廓的时候,内部轮廓则是由于线路的孔洞缺陷导致,将其也看作一个单连通区域,便于后面的缺陷判断检测。

### 2.3 整幅图像轮廓分析

设经过二值化、目标区域提取以及边缘检测后的图像为  $image[m][n]$ ,轮廓为白色,背景为黑色。为了对已搜索过的像素作标记,建立一个与原图像尺寸一致的标记数组。将所有轮廓存储在一个  $vector <Contour>$  对象中,算法具体步骤如下。

(1) 建立一个与图像尺寸一致的标记数组  $flag[m][n]$ ,初始化为 0,表示所有元素均没被标记。

(2) 从左至右从上至下遍历图像所有像素,当扫描到一个白色且未被标记的像素  $pix(i, j)$  时,说明找到一个新轮廓,以该像素为起点,按照上面的单个轮廓分析算法搜索出该轮廓的所有像素,存入表示该轮廓的 Contour 对象中,搜索过程中已搜索过的白色像素在 flag 数组中的对应元素置 1。当本次搜索完毕时,将该轮廓的 Contour 对象存入  $vector <Contour>$  对象中。

(3) 继续扫描图像,重复第(2)步,直到遍历完成一个图像,至此已找出所有轮廓,算法结束。

对图 2 应用上面的算法进行轮廓分析,统计了轮廓数目,计算了每个轮廓的面积,结果图 7 所示。

```
The sum of contours is 33
Area of contour 1 is 1354 Area of contour 2 is 7906
Area of contour 3 is 6886 Area of contour 4 is 6143
Area of contour 5 is 6327 Area of contour 6 is 6164
Area of contour 7 is 5837 Area of contour 8 is 5767
Area of contour 9 is 5868 Area of contour 10 is 5292
Area of contour 11 is 5492 Area of contour 12 is 5760
Area of contour 13 is 4768 Area of contour 14 is 4993
Area of contour 15 is 5817 Area of contour 16 is 5833
Area of contour 17 is 4643 Area of contour 18 is 4429
Area of contour 19 is 4727 Area of contour 20 is 4354
Area of contour 21 is 4155 Area of contour 22 is 4787
Area of contour 23 is 4196 Area of contour 24 is 3806
Area of contour 25 is 4863 Area of contour 26 is 4197
Area of contour 27 is 3685 Area of contour 28 is 4821
Area of contour 29 is 3863 Area of contour 30 is 3821
Area of contour 31 is 3616 Area of contour 32 is 3861
Area of contour 33 is 4254
```

Fig. 7 Result of contour analysis

为了测试该算法的性能,选择了不同尺寸和不同轮廓数目的 LCD 线路图像,对每张图像进行 50 次重复测试统计轮廓分析时间,其图像尺寸、轮廓数目以及轮廓分析平均消耗时间的关系如表 1 所示。所用 PC 配置 Intel Core2 Duo T6670, 2.2GHz 处理器, 2GB 内存, Windows 7 系统,并在 VS2008 开发环境下进行试验。

Table 1 Time consumed for contour analysis

image size/pixel	contour number	consumed time/s
417 × 627	32	0.118
879 × 628	32	0.124
1307 × 632	32	0.132
1681 × 633	32	0.137
1681 × 633	64	0.269
1681 × 633	109	0.522
1681 × 633	185	0.758

从表1可以看出,该轮廓分析方法能快速地找出所有线路轮廓并计算出其面积。同时由表1前4行可知,在轮廓数目相同的情况下,随着图像尺寸的成倍增加,所需时间增加很缓慢;由后4行可知,在图像尺寸不变的情况下,轮廓分析时间随轮廓数目成近似线性关系;因此,影响消耗时间的主要因素是轮廓数目。由于LCD线路图像的像素分辨率高,图像尺寸很大,但线路数目相对较少,因此,用该方法可高效率地检测LCD的线路缺陷。

### 3 检测流程和实验结果

本文中算法检测的LCD线路的缺陷示意图如图8所示,包括短路、断路、孔洞和孤岛4种缺陷。

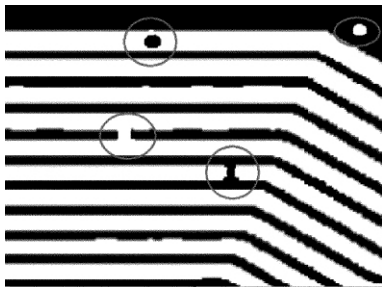


Fig. 8 Schematic of defects

缺陷检测流程如下。

(1) 对某一型号的LCD,选择一定数目(这里取10块)标准样品,按上述算法过程计算出每块LCD线路的轮廓数目和每个轮廓的面积,对于面积将10次所得到的值取平均,以此作为这一型号的标准数据。

(2) 对该型号任一待测LCD,同样按照上述算法计算出其轮廓数和每个轮廓的面积。如果轮廓数与标准数据不同,则必定是不良品;否则转下一步。

(3) 由于数目相同时可能是短路、断路等多种缺陷同时发生,因此将轮廓面积逐个与标准数据比较,如果有短路、断路、孔洞和孤岛等缺陷,则必定存在某些轮廓与标准数据差异很大,故设定适当阈值 $T$ ,如果每个轮廓面积差值的绝对值都小于 $T$ ,则判定为合格品,否则为不良品。

根据上述算法和检测流程,选择了10种不同型号的小型LCD,每种选取了20个样品进行测试,这些样品包含无缺陷及有短路、断路、孔洞及孤岛缺陷的LCD,在总共200个样品中,只有2片误检,正确率达99%。对误检的LCD进行分析,其误检主要是线路受到灰尘的污染所致。同时,采用基于图像配准再作差的模板匹配法对上面200个样品进行测试,结果有9

片误检,正确率95.5%,误检主要因素是图像配准的偏差。可见该方法可以有效地检测出含有上述4种缺陷的LCD。

### 4 结论

基于图像轮廓分析的LCD线路缺陷检测方法与传统的基于图像配准的方法相比,由于避免了配准偏差带来的影响,因此提高了检测正确率。在轮廓分析过程中,对单像素轮廓采用基于深度优先搜索的方法,有效地提取了线路轮廓,并根据离散化的格林公式快速地计算出了轮廓面积。将待检测LCD的线路轮廓信息与标准信息比较以判断是否存在缺陷,经验证,本文中的算法可以有效地检测出LCD中的短路、断路、孔洞以及孤岛缺陷,在LCD线路缺陷检测方面具有很好的应用前景。

#### 参考文献

- [1] YE H Ch H, WU F Ch. An image enhancement technique in inspecting visual defects of polarizers in TFT-LCD industry [C]//International Conference on Computer Modeling and Simulation, 2009. ICC-MS 2009. Macau, China: IEEE Press 2009: 257-259.
- [2] KIM H W, YOO S I. Non referential method for defects inspection of TFT-LCD pad[J]. Proceedings of SPIE, 2008, 6813: V8130.
- [3] LU Z Q, PENG Y L. A defect inspection algorithm for LCD touch screen [C]//TICISE 2009 Proceedings of the 2009 First IEEE International Conference on Information Science and Engineering. Nanjing, China: IEEE Press 2009: 1031-1034.
- [4] SCHEURING G. New approach for defect inspection on large area masks [J]. Proceedings of SPIE, 2007, 6533: 65331H.
- [5] JEONG Ch K, YOO J W, PARK P G. A defect inspection method for TFT panel using the compute unified device architecture (CUDA) [C]//IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Seoul, Korea: IEEE Press 2009: 779-782.
- [6] KANG S B, LEE M S, PAHK H J. Development of AOI (automatic optical inspection) system for defect inspection of patterned TFT-LCD panels using adjacent pattern comparison and border expansion algorithms [J]. Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 2008, 14(5): 444-452.
- [7] BLOOMBERG D S, VINCENT L. Pattern matching using the blur hit-miss transform [J]. Journal of Electronic Imaging, 2000, 9(2): 140-150.
- [8] DOH Y H, KIM J Ch, KIM J W, et al. New morphological detection algorithm based on the hit-miss transform [J]. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers 2002, 41(1): 26-31.
- [9] SUZUKI S, BE K. Topological structural analysis of digitized binary images by border following [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1985, 30(1): 32-46.
- [10] CORMEN T H, LEISERSON C E, RIVEST R L, et al. Introduction to Algorithms [M]. 2nd ed. Beijing: China Machine Press, 2006: 330-335.