

一种基于SNCC的中心对称标记精确定位方法

徐 兵^{1,2}, 陈跃飞², 周 畅², 张建华¹, 李喜峰¹

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200444; 2. 上海微电子装备(集团)股份有限公司, 上海 201203)

摘 要: 利用中心对称标记的中心旋转不变特性, 提出了一种基于自归一化积相关(SNCC)的模板匹配方法。该方法对由于TFT制程工艺导致的非线性缩放变形以及标记离焦情形, 具有较强的工艺适应性。通过对TFT工艺变形的对准标记以及离焦的对准标记对比测试, 验证了在此工况条件下, 基于SNCC方法的测量结果相对NCC及几何模版匹配算法具有更高的可信度, 可以满足中心对称标记亚像素级的精确定位及测量需求。相对于传统标记中心定位方法, 在对准标记产生工艺形变或对准离焦时, 研究方法依旧可以获取高的可信度测量结果。

关键词: 薄膜晶体管; 归一化积相关; 中心对称标记; 亚像素定位

中图分类号: TN321+.5; TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2020)04-0284-07

A Measurement Method Based on SNCC for Centrosymmetric Markers

XU Bing^{1,2}, CHEN Yuefei², ZHOU Chang², ZHANG Jianhua¹, LI Xifeng¹

(1. *School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200444, CHN*; 2. *Shanghai Micro-electronics Equipment (Group) Co., Ltd, Shanghai 201203, CHN*)

Abstract: A template matching method based on SNCC (self-normalized cross correlation) was proposed, which was based on the invariance of center rotation of centro-symmetric markers. This method had strong process adaptability to the non-linear scaling deformation caused by TFT process and the defocusing of markers. Through the contrast test of alignment mark and defocus alignment mark of TFT process deformation, it was verified that under this condition, the measurement results based on SNCC method had higher reliability than NCC (normalized cross correlation) and geometric template matching algorithm, and could meet the needs of accurate positioning and measurement at sub-pixel level of centrosymmetric marker. Compared with the traditional mark center positioning method, the proposed method could still obtain high reliability measurement results when the alignment mark produced process deformation or alignment defocusing.

Key words: TFT; normalized cross correlation; centro-symmetrical mark; sub-pixel positioning

收稿日期: 2020-06-01

作者简介: 徐 兵(1974—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为微纳测量技术; (E-mail: xub@smee.com.cn)

陈跃飞(1978—), 男, 硕士, 光电系统设计工程师, 主要研究方向为图形图像处理;

周 畅(1975—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为微纳制造装备。

引言

平板显示技术的不断发展对 TFT 阵列图形的位置精度及套刻精度提出了更高要求。中心对称标记具有设计简单及确定的几何中心,因此被广泛应用于 TFT 阵列图形制程中的曝光对准测量。常见的中心对称标记有圆形、椭圆型、矩形、十字、平行四边形、菱形、偶数正多边形以及包含上述特征的旋转图形。

中心对称标记精确定位方法主要有 Hough 变换法、边缘拟合检测法和归一化的模板匹配法三大类。

Hough 变换法实质是将标记中心定位问题转换为圆、椭圆及直线特征检测问题,基于 Hough 变换法检测的基本步骤为:边缘检测器对图像进行预处理,得到图像空间的待测特征边缘像素点,然后将这些边缘像素点变换到 Hough 空间,通过构造累加器进行投票,判断待测特征是否存在^[1-4];Hough 变换法的缺点是算法需要构建庞大的累加器阵列,计算资源消耗大且实时性差。

边缘拟合检测法的基本步骤为:先通过边缘检测器或形态学方法获取标记轮廓边缘,再通过拟合方法计算标记中心;文献[5]提出了用于内窥镜校准的圆形标记中心检测方法,首先利用阈值对图像进行分割,然后利用 canny 等方法进行边缘检测,最后使用椭圆拟合计算圆形标记的中心;文献[6]提出了用 SIM 贴片机的矩形标记中心检测方法,首先采用 Otsu 方法进行阈值分割,然后使用二值化图像和 8 连通码实现边缘轮廓提取和追踪存储,接下来用 Hu 不变矩对轮廓数据识别筛选,最后使用矩形拟合计算出矩形中心。上述边缘拟合检测法的缺点是缺乏归一化的判据,无法对标记定位结果的准确性进行自动决策。

归一化的模板匹配法基本步骤为:首先训练模板图像,提取待测特征,然后根据已训练的模板图像特征在目标图像中寻找对应的 ROI(Region Of Interest)区域,其中模板图像中的标记中心位置与模板图像 ROI 中心距离已知;基于图像灰度归一化积相关(Normalized Cross Correlation, NCC)方法^[7-10]很好地解决了在均匀光照条件下目标定位问题,但是当目标图像中存在非均匀光照时,基于灰度的 NCC 方法就不能实现模板与目标图像的准确匹配。为解决上述问题,基于几何模版匹配的归一化方法^[11-12]被提出,此方法对非均匀光照具有较强

的鲁棒性。但此类方法的缺点是当目标图像标记相对标准模板图像变形后,归一化的匹配得分会相应下降,达到一定程度时会影响系统自动决策。

基于归一化的模板匹配法被广泛用于 TFT 阵列图形制程中的曝光对准测量。对于工艺导致的对准标记非线性缩放变形,以及对准标记离焦情形,往往导致模板匹配得分急剧下降。如果大幅度降低匹配得分阈值,则自动测量系统无法判断测试结果的准确性。文中利用中心对称标记的中心旋转不变特性,提出了一种自归一化积相关方法 SNCC(Self Normalized Cross Correlation)。该方法能有效地解决中心对称标记由于制程工艺所产生的非线性缩放变形,以及标记离焦后匹配度明显降低问题,显著提高了测试结果匹配得分,实现了中心对称标记亚像素级的精确定位。文中方法相对于非归一化的标记中心定位方法,提供了定位结果的可信度判定依据;相对于已有的归一化标记中心定位方法,在标记制作质量或测试条件下降情况下,可以获取高可信度测量结果。

1 中心对称标记定位原理

如图 1 所示,假设在目标图像 I 内存在包含中心对称标记 M 的 ROI 区域,其中标记中心坐标为 (X_c, Y_c) , ROI 区域中心坐标为 (X_r, Y_r) ,若 ROI 内任意点 (X, Y) 围绕标记中心以角度 θ 旋转,则旋转后该点位置坐标 (X', Y') 可用式(1)所示的旋转变换关系式表示。

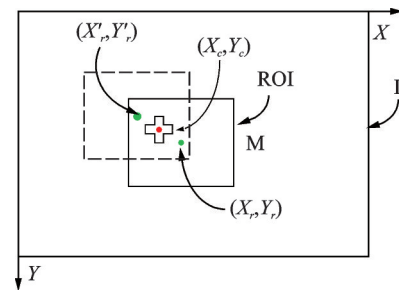


图1 中心对称标记中心定位原理

Fig.1 Principle of calculating center position of centrosymmetric marker

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -X_c \\ 0 & 1 & -Y_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & X_c \\ 0 & 1 & Y_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

当 θ 取 180° 时, 对应 (X', Y') 可用式(2)表示:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -X + 2X_c \\ -Y + 2Y_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

由于存在 $(X_r, Y_r) \in (X, Y)$ 及 $(X'_r, Y'_r) \in (X', Y')$, 中心对称标记 M 的中心坐标位置表示为式(3):

$$\begin{cases} X_c = \frac{X'_r + X_r}{2} \\ Y_c = \frac{Y'_r + Y_r}{2} \end{cases} \quad (3)$$

其中 (X_r, Y_r) 为 θ 取 0° 时 ROI 区域中心在目标图像 I 中的位置; (X'_r, Y'_r) 为 ROI 区域绕标记 M 的中心 (X_c, Y_c) 旋转 180° 后在目标图像 I 中的位置。文中接下来的论述中, 都假设 (X_r, Y_r) 已知; 重点描述 (X'_r, Y'_r) 求解过程, 以最终精确定位中心对称标记 M 的中心位置 (X_c, Y_c) 。

2 SNCC 对准标记定位方法

2.1 SNCC 标记中心计算

基于 SNCC 方法的中心对称标记的中心计算流程如图 2 所示。

从目标图像 I 中截取 ROI 生成对准标记子图像 I_s , 其中, ROI 区域完全包含中心对称对准标记 M。ROI 中心在目标图像中的位置记为 (X_r, Y_r) 。

将截取子图像 I_s 旋转 180° , 生成旋转图像 T。

基于 SAD (Sum of Absolute Differences) 方法^[13-14], 对具有相同采样间隔的模板图像 T 与目标图像 I 进行匹配, 迭代搜索相似度最佳位置;

基于 NCC 方法, 计算给出无采样的模板图像 T 与目标图像 I 对应匹配得分最高的 ROI 中心位置^[7-10];

利用上步得到的像素级位置及 8 邻域位置数据进行曲面拟合^[15], 得到亚像素级位置坐标 (X'_r, Y'_r) ;

利用上述步骤得到位置 (X_r, Y_r) 及位置 (X'_r, Y'_r) , 计算得到中心对称标记 M 的中心 $((X'_r + X_r)/2, (Y'_r + Y_r)/2)$ 。

2.2 对准标记子图截取及旋转

如图 3 所示, 以尺寸为 (w, h) 的目标图像 I 中心作为 ROI 的中心 (X_r, Y_r) , 截取尺寸为 (w_1, h_1) 的子图 I_s ; 考虑到目标图像 I 尺寸的奇偶性, 定义目标图像 I 的中心坐标为:

$$(X_r, Y_r) = \text{floor}(w/2, h/2) \quad (4)$$

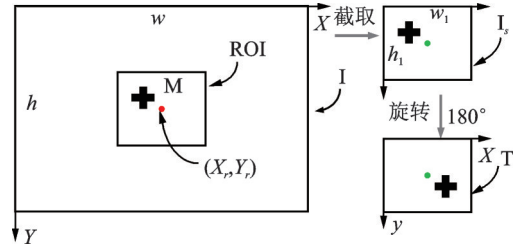


图 2 目标图像子图截取及旋转过程

Fig.2 Subgraph interception and rotation process from target image

为了使截取的子图 I_s 中心与目标图像 I 的中心重合, 在这里取 (w_1, h_1) 为偶数; (w_1, h_1) 的选取需考虑对准标记的定位重复性, 并保证完整的对准标记被包含在截取的子图范围内; 这样, 截取目标图像 I 的起始和终止位置用式(5)表示如下:

$$\begin{cases} X_{start} = X_r - w_1/2 + 1 \\ Y_{start} = Y_r - h_1/2 + 1 \\ X_{end} = X_r + w_1/2 \\ Y_{end} = Y_r + h_1/2 \end{cases} \quad (5)$$

使用表达式(6)所示的快速图像灰度值旋转变换公式, 得到子图 I_s 旋转 180° 后所生成的图像 T:

$$T(w_1 + 1 - x, h_1 + 1 - y) = I_s(x, y) \quad (6)$$

其中 $T(), I_s()$ 为对应位置处图像的灰度值, $x=1, 2, \dots, w_1, y=1, 2, \dots, h_1$

2.3 灰度模板匹配

基于灰度归一化积相关(NCC)的模板匹配算法原理^[7-10]如图 3 所示, 模板图像 T 在目标图像 I 中进行滑动, 求取参考点 (X, Y) 位置处的灰度归一化相关系数或得分。

在目标图像 I 中任意参考点位置 (X, Y) 对于模板图像 T 的匹配得分计算公式为式(7)所示; 其中, $T(i, j)$ 表示模板图像 T 内任意像素位置 (i, j) 的灰度值, \bar{T}

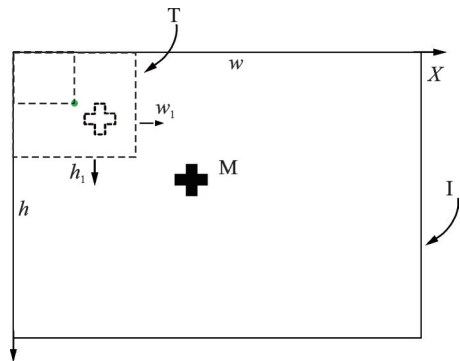


图 3 基于灰度 NCC 的模板匹配原理示意图

Fig.3 Template matching principle based on gray-scale NCC

表示模板图像 T 内所有像素点的平均灰度值, $I(X+i, Y+j)$ 表示目标图像 I 对应模板图像 T 所在区域每个像素点的灰度值, \bar{T} 为滑动窗口内所有像素点平均灰度值。通过计算和比较模板图像 T 在目标图像 I 上每个滑动位置上的匹配得分, 并以匹配得分最大值所对应的目标图像标记位置作为输出结果。

$$S(X, Y) = \frac{\sum_i \sum_j [(T(i, j) - \bar{T}) \times (I(X+i, Y+j) - \bar{I})]}{\sqrt{\sum_i \sum_j (T(i, j) - \bar{T})^2 \times \sum_i \sum_j (I(X+i, Y+j) - \bar{I})^2}} \quad (7)$$

2.4 由粗到精的多分辨率搜索方法

为了提高模板匹配的效率, 必须降低模板匹配算法计算的复杂度, 由粗到精的搜索算法通常被采用。典型的粗-精搜索策略^[16-18]是先通过降低图像的分辨率计算出粗略的匹配位置, 然后再通过提高图像的分辨率以获取更高精度的匹配位置; 实现这个过程的一种有效方式就是构建模板图像和目标图像的图像金字塔。

在传统的模板匹配流程中, 一次模板图像学习完成后, 可以用于批量目标图像匹配; 而文中为了解决中心对称标记非线性缩放变形问题, 需要每次都进行模板图像学习, 因此构造复杂的图像金字塔无法满足实时性要求。为此, 文中提出了一种多分辨率图像采样算法, 实现了由粗到精的标记搜索及定位。根据此算法策略, 图像初始采样间隔的设置将直接影响模版匹配效率, 文献^[19]给出了一种采样间隔 $step$ 的经验计算公式, 如式(8)所示:

$$step = \text{floor} \left(\sqrt{\frac{\sqrt{wh}}{8}} \right) \quad (8)$$

其中, (w, h) 表示目标图像的宽和高。

为了提高计算效率, 在由粗到精搜索过程中, 计算参考 SAD 方法^[13-14]进行; 首先, 从 2 到 $step$ 的不同的整数步距对模板图像 T 进行抽样, 得到不同分辨率的模板图像。

$$E(X, Y) = \sum_{i=1}^{m_2} \sum_{j=1}^{n_2} |I(X+(i-1) \times step, Y+(j-1) \times step) - I_{\text{mean}} - T(i, j) - T_{\text{mean}}| \quad (9)$$

其中, m_2 和 n_2 为抽样的模板图像尺寸, I_{mean} 为当前抽样的 ROI 区域内图像灰度均值, T_{mean} 为抽样模板图像的灰度均值。

接下来, 比较所有位置的值 E , 输出 E 值最小的位置, 并使用式(7)计算此位置的匹配得分。

进一步地, 利用计算得到的匹配得分以及阈值 $HIGHSCORE$ 和 $LOWSCORE$ 进行判断, 输出搜索标志 $SEARCH_FLAG$ 的值, 如式(10)所示:

$$\begin{cases} SEARCH_FLAG = 1, S(X, Y) > HIGHSCORE \\ SEARCH_FLAG = 0, S(X, Y) \leq HIGHSCORE \\ \quad \text{and } S(X, Y) \geq LOWSCORE \\ SEARCH_FLAG = -1, S(X, Y) < LOWSCORE \end{cases} \quad (10)$$

考虑到图像分辨率被降低后, 对应匹配得分下降, $HIGHSCORE$ 和 $LOWSCORE$ 可分别取为 0.7 和 0.1。接下来, 根据获得的 $SEARCH_FLAG$ 数值, 调整搜索步距 $step$ 和搜索范围 ($search_X, search_Y$), 如式(11)所示:

$$\begin{cases} FINESEARCH, SEARCH_FLAG = 1 \\ step = \text{floor}(step/1.2), SEARCH_FLAG = 0 \\ END, SEARCH_FLAG = -1 \end{cases} \quad (11)$$

在式(11)中, 当 $SEARCH_FLAG = 1$, 流程转入精搜索过程, 采用二次曲面拟合方法^[15]计算亚像素位置; 当 $SEARCH_FLAG = -1$ 时, 搜索计算流程直接终止。当 $SEARCH_FLAG = 0$ 时, 计算继续进行, 将采样步距调整为近似初始值的 1/1.2, 搜索范围参照式(12)进行:

$$\begin{cases} search_X = (X - 4*step, X + 4*step) \\ search_Y = (Y - 4*step, Y + 4*step) \end{cases} \quad (12)$$

式(11)中, 搜索范围为前步输出位置 (X, Y) 的正负 4 倍步距区域, 在匹配范围内对匹配得分计算, 然后根据 $HIGHSCORE$ 和 $LOWSCORE$, 判断是转入精搜索还是转入下步迭代运算; 迭代的另一个终止条件是 $step = 1$ 。

2.5 亚像素级精定位方法

受图像分辨率的限制, 模板图像和目标图像的匹配结果是像素级的。如图 4 所示, 为了得到更高精度的测量位置, 使用匹配得分最大值及位置及其

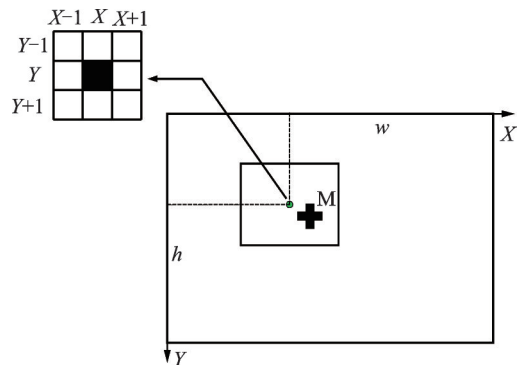


图 4 8 领域相关度计算原理

Fig.4 Principle of 8-domain correlation calculating

周围所示的 8 个领域^[15], 构建的椭圆二次曲面方程如式(13):

$$S(X, Y) = aX^2 + bXY + cY^2 + dX + eY + f \quad (13)$$

将上述 9 个位置及对应匹配得分代入到式(13)中, 得到超定线性方程, 如式(14)所示。然后, 采用最小二乘法计算待定系数矩阵 $[a \ b \ c \ d \ e \ f]^T$ 。

$$\begin{bmatrix} S(X-1, Y-1) \\ S(X, Y-1) \\ S(X+1, Y-1) \\ S(X-1, Y) \\ S(X, Y) \\ S(X+1, Y) \\ S(X-1, Y+1) \\ S(X, Y+1) \\ S(X+1, Y+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (X-1)^2 & (X-1)(Y-1) & (Y-1)^2 & X-1 & Y-1 & 1 \\ X^2 & X(Y-1) & (Y-1)^2 & X & Y-1 & 1 \\ (X+1)^2 & (X+1)(Y-1) & (Y-1)^2 & X+1 & Y-1 & 1 \\ (X-1)^2 & (X-1)Y & Y^2 & X-1 & Y & 1 \\ X^2 & XY & Y^2 & X & Y & 1 \\ (X+1)^2 & (X+1)Y & Y^2 & X+1 & Y & 1 \\ (X-1)^2 & (X-1)(Y+1) & (Y+1)^2 & X-1 & Y+1 & 1 \\ X^2 & X(Y+1) & (Y+1)^2 & X & Y+1 & 1 \\ (X-1)^2 & (X+1)(Y+1) & (Y+1)^2 & X+1 & Y+1 & 1 \end{bmatrix} \cdot [a \ b \ c \ d \ e \ f]^T \quad (14)$$

为计算曲面方程极值位置, 将式(13)对 (X, Y) 求偏导数, 并令其等于 0, 如式(15)所示:

$$\begin{cases} \frac{\partial S(X, Y)}{\partial X} = 2aX + bY + d = 0 \\ \frac{\partial S(X, Y)}{\partial Y} = bX + 2cY + e = 0 \end{cases} \quad (15)$$

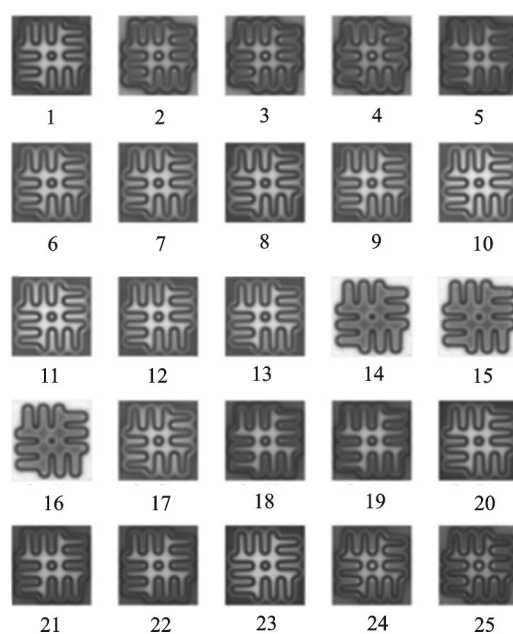
对式(15)求解, 得到亚像素级的匹配位置, 如式(16)所示; 进一步地, 结合式(4)和式(16)计算结果, 得到对准标记中心位置 $((X'_r + X_r)/2, (Y'_r + Y_r)/2)$ 。

$$\begin{cases} X = X'_r = \frac{2cd - be}{b^2 - 4ac} \\ Y = Y'_r = \frac{2ae - db}{b^2 - 4ac} \end{cases} \quad (16)$$

3 实验验证

3.1 工艺变形标记图像测试

如图 5 所示, 基于 SMEE 公司开发的 SSB245



(a) 工艺图片



(b) 标准标记图片

图 5 基板精对准标记工艺图片及标准标记图片

Fig.5 Substrate fine alignment marking process pictures and standard marking picture

型号曝光机^[20]平台利用基板对准系统, 在线拍摄了位于 TFT 玻璃基板不同位置处的精对准标记图像。其中, 基板对准镜头倍率为 25 倍, 物方数值孔径 NA 为 0.15, 采用柯拉照明方式, 照明均匀性小于 5%, 采集图像分辨率为 $1\ 392 \times 1\ 040$ 。

采集到的基板对准标记为光刻胶图形, 由于显影、后烘等工艺处理原因, 基板对准标记发生了沿中心对称的非线性缩放变形。在玻璃基板不同位置处共拍摄 25 幅精对准工艺标记图像, 标记图像局部如图 5(a) 所示; 用于进行比对的标准模板如图 5(b) 所示, 该模板用于 HALCON NCC 和 HALCON

Shape 匹配,便于与 SNCC 方法进行比对。

采用文中研究的 SNCC 方法及 MVTEC 公司开发的 HALCON NCC 和 HALCON Shape 匹配软件 (其软件版本为 HALCON Student version 8.0.1^[21]), 对图 5(a) 所示图片进行测试,并对不同方法获得的匹配得分进行比较和分析。

从图 6 可以看出,HALCON NCC 方法的匹配得分范围在 (0.1, 0.6), 这是因为精对准标记出现了变形且标记背景也出现了灰度非均匀变化; 由于 NCC 方法对这种相对于标准模板的灰度非均匀变化很敏感,从而导致匹配得分下降。

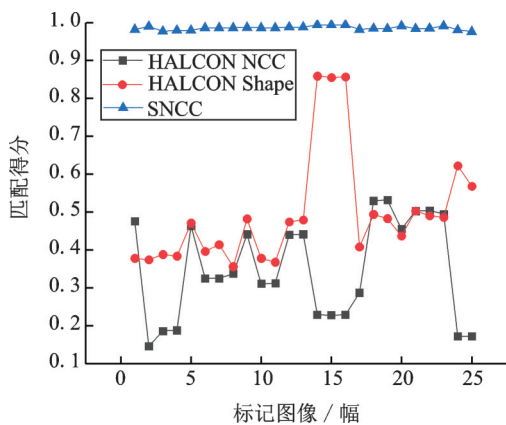


图6 HALCON NCC、HALCON Shape 及 SNCC 匹配得分对比曲线图

Fig.6 Comparison curves of HALCON NCC, HALCON Shape and SNCC matching score

HALCON Shape 匹配软件基于几何形状进行标准模版和目标图像之间的匹配;其匹配得分范围在 (0.3, 0.9) 之间,这是因为标记出现了非线性缩放变形;这种变形在直线部分和拐角部分差异很大,限制了几何模版匹配算法通过缩放来改善标准标记模版和目标图像之间的边缘匹配得分能力。

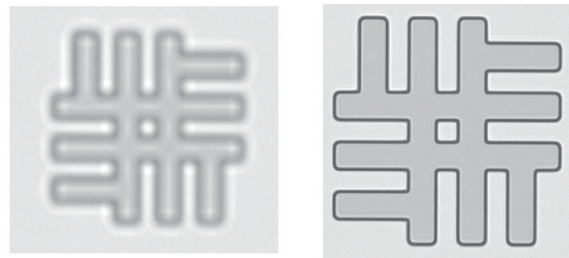
SNCC 方法匹配得分范围在 (0.95, 1) 之间;这是因为虽然精对准标记存在非线性缩放变形,但这种几何变形及灰度变化相对对准标记几何中心是旋转对称的,利用 SNCC 方法在目标图像中先截取对准标记子图,然后对对准标记子图进行 180° 旋转后,由于旋转后的模板标记图像相对于目标对准标记图像差异很小,因此 SNCC 的匹配得分很高且对应的匹配位置也是高度可信的。

3.2 离焦标记图像测试

如图 7(a) 所示,基于 SMEE 公司开发的 SOM245 型号测试机^[20]平台,在 30 秒内,连续拍摄

位于 TFT 玻璃基板上离焦 18 μm 的对准标记图像 25 帧。其中,基板对准镜头倍率为 20 倍,物方数值孔径 NA 为 0.42,采用柯拉照明方式,照明均匀性小于 5%,采集图像分辨率为 1 384 × 1 032。

如图 7(b) 所示,此模板从上述设备在最佳焦面的对准标记图像中截取,模板中的标记非常清晰。此模板用于 HALCON NCC 和 HALCON Shape 匹配,用来与 SNCC 方法进行比对。



(a) 对准标记图像(离焦 18 μm) (b) 从最佳焦面图像中截取的模板
图7 离焦标记图像及模板

Fig.7 Defocus marker image and template

从表 1 中可以得出,使用 SNCC 方法得到的重复性受到标记离焦的影响最小,重复性结果最好;使用 HALCON Shape 方法受到标记离焦的影响最大,这是由于标记的边缘在离焦后变模糊所致。

表1 HALCON NCC、HALCON Shape 及 SNCC 测量离焦标记图像重复性对比表

Tab.1 Table of HALCON NCC, HALCON Shape and SNCC repeatability contrast for defocus marker images

	x_3sigma/(pixel)	y_3sigma/(pixel)
HALCON NCC	0.272	0.274
HALCON Shape	0.370	0.293
SNCC	0.255	0.242

从图 8 可以看出,HALCON NCC 方法的匹配得分范围在 (0.65, 0.7); 匹配度下降的原因为:相对于如图 7(b) 所示的最佳焦面获取的模板,如图 7(a) 所示的标记灰度区域分布发生了明显的变化。

HALCON Shape 方法的匹配得分范围在 (0.6, 0.65); 匹配度下降的原因为:相对于如图 7(b) 所示的最佳焦面模板所能提取到的边缘特征,如图 7(a) 所示的标记所提取到边缘位置的不确定性明显增加。

SNCC 方法的匹配得分范围在 (0.95, 1); 测试结果保持高匹配度的原因为:对于如图 7(a) 所示标记,即使在离焦后,标记区域的灰度分布依然沿着标记中心旋转对称分布。

从上述对比结果可知,中心对称标记在离焦后,中心对称性不变,SNCC依然可以提供高匹配及重复性好的测试结果。

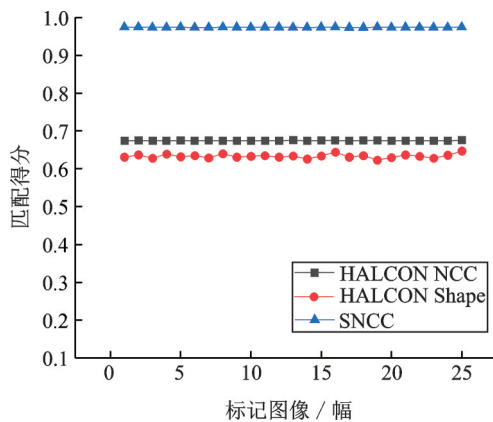


图8 HALCON NCC、HALCON Shape及SNCC测量离焦标记匹配得分对比曲线图

Fig.8 Comparison curves of HALCON NCC, HALCON Shape and SNCC matching score for defocus markers

4 结 论

文中提出了一种亚像素级适用于中心对称标记的SNCC精确定位方法。其利用中心对称标记自身旋转对称不变的特性,首先在目标图像中截取含中心对称标记子图像的ROI区域,然后将其旋转180°后得到模板图像;为提高SNCC方法测量效率及测量精度,采用了由粗到精的多分辨率搜索策略及8领域椭圆曲面二次拟合,得到目标图像中对应模板图像的ROI中心位置,最后通过计算获得中心对称标记中心在目标图像中的位置。

通过对均匀照明条件下获取的TFT基板工艺变形对准标记图片,以及TFT基板离焦对准标记图片,分析采用HALCON NCC、HALCON Shape及SNCC方法进行计算对比。测试结果表明文中所研究的SNCC方法对具有非线性缩放变形的、离焦的中心对称标记具有较强的工艺适应性。使用此方法,可以获取可行度高及重复性好的中心对称标记中心位置。

参 考 文 献

[1] Duda Richard O, Hart Peter H. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures[J]. Communications of the ACM, 1972, 15(1): 11-15.

[2] Ballard Dana H. Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes[J]. Pattern Recognition, 1981, 13(2): 111-222.

[3] 程宏浩, 尚俊娜, 施许立. 一种基于视觉和深度信息的山体裂

缝宽度测量方法仿真研究[J]. 传感技术学报, 2019, 32(10): 1583-1588.

- [4] 赵芳, 张骁, 杨利斌, 等. 基于离散霍夫变换的十字线检测算法[J]. 舰船电子工程, 2020, 33(1): 37-39, 77.
- [5] 侯蕊, 葛振杰, 赵越, 等. 基于椭圆拟合的医用窥镜图像相对畸变率检测方法研究[J]. 光学技术, 2018, 45(3): 364-367.
- [6] 寸毛毛, 卢军. 基于改进Hu矩和矩形拟合的芯片识别定位算法[J]. 包装工程, 2018, 39(3): 151-156.
- [7] Zhang Zhengyou, Deriche Rachid, Faugeras Olivier, et al. A robust technique for matching two uncalibrated images through the recovery of unknown epipolar geometry[J]. Artificial Intelligence, 1995, 78(1-2): 87-119.
- [8] Luigi Di Stefano, Mattocchia Stegano, Mola Martino, et al. An efficient algorithm for exhaustive template matching based on normalized cross correlation[C]. 12th International Conference on Image Analysis and Processing, Mantova, Italy, 2003, 322-327.
- [9] John P Lewis. Fast template matching[C]. Vision Interface, Quebec Citry, Canada, 1995, 15-19.
- [10] 徐远, 宋爱国, 李会军. 基于机器视觉和力反馈的自动装配技术研究[J]. 测控技术, 2019, 38(4): 11-16.
- [11] Steger Carsten. Occlusion, clutter, and illumination invariant object recognition[J]. International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2002, 34(3/A): 245-350.
- [12] 陈金胜, 陈兴杰, 彭乐乐, 等. 基于边缘特征的无碎轨道扣件定位方法[J]. 计算机测量与控制, 2019, 26(5): 166-169.
- [13] Luigi Di Sefano, Marchionni Massimiliano, Mattocchia Stefano, et al. A fast area-based stereo matching algorithm[J]. Image and Vision Computing, 2004, 22(12): 983-1005.
- [14] 袁伟. 一种多视角自适应的模板匹配目标检测方法[J]. 电讯技术, 2018, 58(6): 682-689.
- [15] Gleason Shaun S, Hunt Martin A, William Bruce Jatko, et al. Subpixel measurement of image features on paraboloid surface fit[J]. Machine Vision Systems Integration in Industry, 1991, 1386: 135-145.
- [16] Roma Nuno, Santos-Victor Jose, Tome Jose, et al. A comparative analysis of cross-correlation matching algorithms using a pyramidal resolution approach[M]. Singapore: World Scientific, 2002.
- [17] O'Neill Mark, Denos Mia. Automated system for coarse-to-fine pyramidal area correlation stereo matching[J]. Image and Vision Computing, 1996, 14: 225-236.
- [18] 逮睿琦, 马惠敏. 多尺度显著性区域提取的模板匹配[J]. 光学学报, 2018, 28(11): 2776-2783.
- [19] Silver William, Wallack Araon S, Wagman Adam, et al. Fast high-accuracy multi-dimensional pattern inspection[P]. USA, US7251366B1, 2007-07-31.
- [20] 上海微电子装备(集团)股份有限公司, 平板显示设备产品[EB/OL]. http://www.smee.com.cn/eis.pub?service=homepageService&method=indexinfo&onclicknodeno=1_4_2_1, 2020-7-25.
- [21] Steger Carsten. 《机器视觉算法与应用》第二版示例程序[EB/OL]. www.machine-vision-book.cn, 2020-7-25.