

DOI: 10.13382/j.jemi.B2205654

# 基于机器视觉的芯片偏移检测系统

周钰 孙力 陈思蓉 孙菁源 夏锐

(江苏大学机械工程学院 镇江 212000)

**摘要:**针对矩阵式测试盘上芯片偏移检测问题,搭建一套基于机器视觉的芯片偏移检测系统,主要包括上下料流道、三维移动平台和视觉检测模块。检测系统以一标准样板为基准,构建模板匹配与仿射变换相结合的图像矫正算法,实现不同待测样本间检测的通用性;以灰度梯度及梯度方向为依据,设计针对芯片区域的矩形测量算法;系统以芯片左上角和右下角点连线的中心为基准点计算芯片偏移量。实验结果表明,本系统针对芯片偏移检测的误差范围 $-2.145\sim 4.257\ \mu\text{m}$ ,单片芯片偏移计算算法执行的平均时间为 $72.56\ \text{ms}$ ,检测轴运行速度为 $20\ \text{mm/s}$ ,对行列数为 $5\times 12$ 的矩阵式测试盘上芯片的平均检测时间为 $64.5\ \text{s/盘}$ ,可满足实际加工过程的需求;使用测量系统分析(MSA)中的偏倚与线性度分析方法对本系统的准确性进行评估,结果表明系统的偏倚和线性均满足生产需求。

**关键词:** 芯片;偏移检测;机器视觉;边缘检测;测量系统分析

**中图分类号:** TP206.1; TN302

**文献标识码:** A

**国家标准学科分类代码:** 510.4050

## Die position offset detection system based on machine vision

Zhou Yu Sun Li Chen Sirong Sun Qingyuan Xia Rui

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212000, China)

**Abstract:** For the problem of offset detection of dies on matrix test trays, a vision-based die offset detection system is built, which mainly includes loading and off-loading channels, a 3D moving platform, and a vision detection module. This system takes a standard sample as the benchmark and builds an image correction algorithm combining template matching and affine transformation to achieve the generality between different inspections. A rectangular measurement algorithm for a specific area is designed, based on the grey scale gradient and the direction of the gradient; the system calculates the die offset using center coordinates of the line which connecting the top left and bottom right points of the die as the reference point. The experimental results show as follows: The offset detection error range of this system is  $-2.145$  to  $4.257\ \mu\text{m}$ , the average time of algorithm execution is  $72.56\ \text{ms}$ , and the operation speed is  $20\ \text{mm/s}$ , and the average detection time for chips on matrix test trays with  $5\times 12$  is  $64.5\ \text{s/tray}$ , which can meet the demand of the actual processing process; the accuracy of this system is tested using the bias and linearity analysis method in measurement system analysis (MSA), the linearity of bias is significant. To conclude, the bias and linearity of the system meet the requirements.

**Keywords:** die; offset detection; machine vision; edge detection; MSA

## 0 引言

芯片制造包括前序加工和后续封装两大流程,晶圆先被刀具切分成单颗芯片,为保证贴装效率,贴片机将芯片贴在 $m\times n$ 矩阵式测试盘上,以盘为单位进行测试后,对通过测试的良品进行封装得到成品。贴片机的贴

装误差导致芯片产生位置偏移,微米等级的偏移导致管脚贴装或字符印制错位,产生不良品,造成损失。在贴装工序后进行芯片偏移检测,有助于发现贴装工艺的问题并及时调整,对提高品控、降低损失有着积极意义。传统的人工检测方法需要借助显微镜等精密仪器,极其耗时且难以避免检测人员引入的主观误差。因此用自动化检测取代人工检测,提高检测的速度、精度,是芯片偏移检

测中亟待解决的重要问题。针对以上问题本研究开发了一套高速、高精度、自动化的芯片偏移检测系统。

近年来,随着机器视觉技术在工业领域自动化检测设备中的广泛应用,国内外针对芯片品质检测的设备逐步向实用化阶段发展<sup>[1]</sup>,如贴片机位置校正<sup>[2]</sup>,表面缺陷<sup>[3-5]</sup>和引脚缺陷检测<sup>[6]</sup>等。基于芯片制备阶段的划片机、贴装阶段的贴片机等设备的图像处理算法也被广泛研究。芯片提取/定位都是图像处理算法的关键步骤<sup>[7-10]</sup>,常用的芯片提取/定位方法有阈值分割<sup>[11-12]</sup>、边缘提取<sup>[13-14]</sup>、模板匹配<sup>[15]</sup>等。Zhong 等<sup>[16]</sup>根据图像阈值进行 Blob 分析,计算 Blob 的最小外接矩形完成芯片提取,平均提取时间为 0.9 ms/颗;Elian 等<sup>[17]</sup>使用 Canny 算子提取芯片外轮廓,根据轮廓计算质心位置实现芯片定位,但定位误差较大为 2 mm;吴清潇等<sup>[18]</sup>使用 Canny 算法提取晶圆边缘用于定位,定位精度达到了 0.02 mm,但对准时间为 20 s;叶小奇等<sup>[19]</sup>使用改进的多模板匹配算法定位芯片,达到了  $\pm 30 \mu\text{m}$  的精度需求;杨桂华等<sup>[20]</sup>使用基于形状的模板匹配定位芯片引脚,使用测量矩形进行一维测量获得引脚尺寸,误差在  $\pm 0.01 \text{ mm}$  之内。已有研究设备大多是固定离线式,无法满足  $m \times n$  矩阵式测试盘上芯片的检测,而在芯片图像识别算法方面,传统的阈值分割和边缘提取无法适应复杂度较高的场景,将整块芯片作为模板进行匹配的误差较大,这些原因导致芯片提取/定位算法的精度较低,稳定性较差。

针对矩阵式测试盘上芯片的偏移检测,本文设计了一种快速、高精度、自动化的芯片偏移在线检测系统;为提高芯片提取的准确性,保证偏移计算精度,本研究提出了一种高精度、不受复杂背景影响的芯片偏移视觉检测算法。算法的图像矫正部分使用基于形状的模板匹配定位 Mark 点,根据 Mark 中心坐标求取旋转、平移矩阵对图像进行仿射变换,完成图像矫正。芯片提取/定位部分使用基于测量矩形的测量模型。使用检测系统进行重复测试,验证系统的准确性是否满足要求。

## 1 试验材料与方法

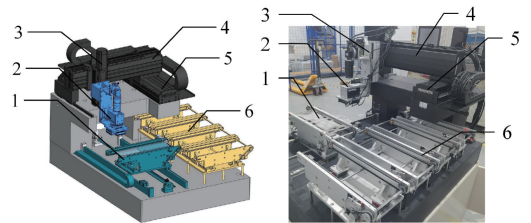
### 1.1 视觉检测系统

#### 1) 系统整体结构

本研究设计的芯片偏移检测系统结构如图 1 所示,主要由运动模块、视觉模块和上下料模块组成,运动模块由 X、Y、Z 三轴平台构建,固定于大理石台面,通过高精度的移动实现矩阵式测试盘上芯片的检测;视觉模块由相机、镜头、光源组成,固定于 Z 移动轴上;上下料模块由 1 个上料流道和 4 个下料流道组成,用于系统的自动上料和分道下料。

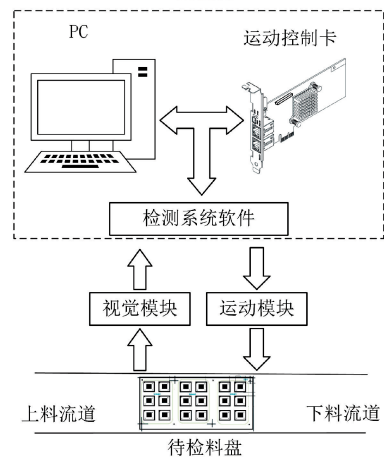
检测系统的一个运行周期可分为上料、检测、下料 3

个阶段。当系统启动,上位机软件发送上料指令给运动模块,驱动上料传输线将待检测试盘运至检测位置,上料完成;以视觉系统视野范围中心 3/4 区域能够容纳单个完整芯片为标准,对测试盘上的所有芯片进行单个芯片拍摄区域的划分,视觉模块在运动模块的驱动下对测试盘上的芯片逐行进行拍摄,每拍完一行通过移动 Y 轴进行换行,直到完成整盘检测。所采集的图像通过软件系统进行实时处理,并将综合判别结果显示于软件界面;整张测试盘检测完毕后,上位机将综合判别结果反馈至后端机台,并分配指定下料流道,完成偏移检测部分的下料。



(a) 检测系统结构 (b) 检测系统实物  
(a) Structure of the system (b) Physical view of the system

1 上料模块 2 视觉模块 3 运动模块 Z 轴  
4 运动模块 X 轴 5 运动模块 Y 轴 6 下料模块  
上位机



(c) 检测系统方案  
(c) Scheme of system

图 1 检测系统整体设计

Fig. 1 Whole design of system

#### 2) 视觉模块设计

针对检测系统的精度需求,选择型号为 ME2P-1230-23U3M 的工业相机,其分辨率为  $4\,096 \times 3\,000 \text{ pixels}$ ,芯片尺寸为  $3.45 \mu\text{m} \times 3.45 \mu\text{m}$ 。根据相机参数和视野范围的相关公式计算,选择型号为 VS-TEV05075 的物方远心镜头,其光学倍率可根据被检芯片尺寸在 0.5~0.75 范围内可调。通过相机标定,得出实际视野尺寸为  $28.438 \text{ mm} \times 20.803 \text{ mm}$ ,则图像 x 方向像素分辨率  $k_x$  为  $6.943 \mu\text{m}/\text{pixel}$ ,y 方向像素分辨率  $k_y$  为  $6.934 \mu\text{m}/\text{pixel}$ 。

pixel。为得到清晰的芯片表面图像,并提高 Mark 点和芯片边缘与背景的对比度,本文采用同轴光源(KW-C50-B)和组合条形光源(KW-4L5016-W)进行组合照明。

### 1.2 试验样品

本文以尺寸为 6.30 mm×8.30 mm 的芯片为例进行试验,系统采集的图像如图 2 所示,芯片表面灰度值较高,边缘用实线标出;背景区域灰度值较低,基板上的导线分布在芯片周围;左上角十字形为 Mark1,其检索区域为 ROI1;右下角矩形为 Mark2,其检索区域为 ROI2;芯片的左上角点和右下角点分别使用 Corner1 和 Corner2 标识,将 Corner1 和 Corner2 连线中点的像素坐标( $x_{cri}, y_{cri}$ )作为偏移计算所需的基准信息。

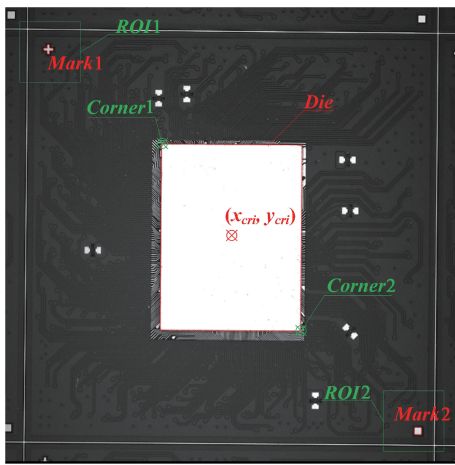


图 2 基准图像  
Fig. 2 Criterial image

### 1.3 芯片定位流程

芯片定位流程分为离线建模和在线处理两部分,如图 3 所示。离线建模部分主要包括预设 ROI1 和 ROI2、Mark1 和 Mark2 形状模板的创建、形状模板中心坐标提取、芯片矩形区域预设及基准位置创建。在线处理过程中则根据预设区域进行模板匹配、图像矫正、芯片区域提取及位置偏移计算。

#### 1) 图像预处理

图像预处理包括图像去噪和增强两部分。其中图像去噪部分使用中值滤波降低图像中的椒盐噪声对芯片边缘的干扰。中值滤波模板尺寸为 3×3,效果如图 4(b)所示,大部分小的噪声点被滤除,模糊了周围非检测目标的黑白条纹边缘,芯片的边缘细节被保留。图像增强部分,为增强边缘特征以提高芯片边缘提取的精度,对去噪后的图像进行高频区域对比度增强:先使用 7×7 的低通滤波矩阵对图像进行低通滤波得到灰度值的低频分量,再用原图像灰度与低频分量作差得到灰度的高频分量,最后将高频分量与对比度增加因子的乘积与原图像灰度值

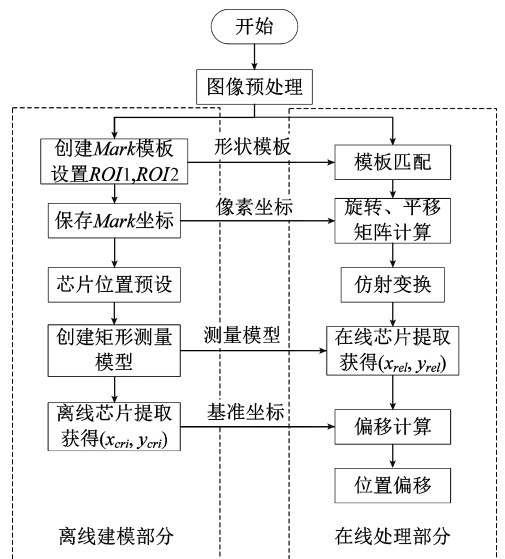
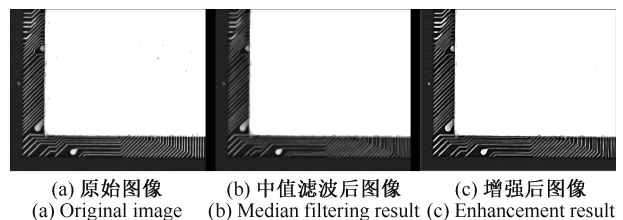


图 3 图像处理流程

Fig. 3 Flow chart of images processing

进行叠加实现对比度增强,对比度增加因子设为 2。增强后的图像如图 4(c)所示,与原图相比增强后的图像芯片区域与背景对比度更高,边缘和角点更清晰。



(a) 原始图像 (a) Original image (b) 中值滤波后图像 (b) Median filtering result (c) 增强后图像 (c) Enhancement result

图 4 图像预处理

Fig. 4 Image pre-processing

#### 2) 图像矫正

实时采集时由于测试盘的振动、测试盘的位置差异等因素,实时图像中芯片基板的位置和角度相对于基准图像会发生变化,如图 5(b)所示。然而测量模型是根据基准图像中芯片位置创建的,因此必须对实时图像进行矫正,使矫正后图像中的基板与基准图像中的基板位置重合,确保芯片处于矩形测量模板的测量范围内。

图 5 中,虚线框表示视野范围;ROI1 为 Mark1 匹配区域,ROI2 为 Mark2 匹配区域;Line1 为基准图像中 Mark1 和 Mark2 中心连线,A 为 Line1 中点;Line2 为矫正前图像 Mark1 和 Mark2 中心连线,B 为 Line2 中点。

图像矫正基于模板匹配和仿射变换。基于离线建模获得的 Mark 形状模板,在图 5(b)的 ROI1、ROI2 内进行基于形状的模板匹配得到 Mark1 和 Mark2 的中心坐标,绘出 Line2,求得 B 点坐标,使用 B 点和基准图像中 A 点坐标求得仿射变换矩阵。图像平移和旋转矩阵乘积的表

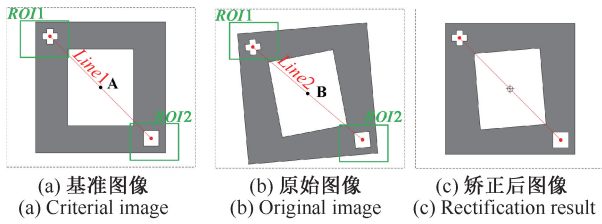


图 5 图像矫正

Fig. 5 Image rectification

达式为:

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

齐次变换矩阵  $H$  为:

$$H = \begin{bmatrix} R & t \\ O^T & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中:  $(x_a, y_a)$  为  $A$  点坐标,  $(x_b, y_b)$  为  $B$  点坐标;  $\theta$  为  $Line2$  与  $Line1$  的角度差;  $R$  为  $2 \times 2$  的旋转矩阵;  $t$  为二维平移向量;  $O^T = (0, 0)$ 。矫正后图像中芯片基板与基准图像中的芯片基板位置重合。

### 3) 芯片区域提取

图像矫正后,使用基于测量矩形的矩形测量算法对实时图像中的芯片区域进行提取,流程如图 6 所示。离线建模部分用于设置测量矩形与边缘检测相关的参数,确定矩形测量区域,生成初始的测量矩形;在线部分以采样距离为步长在测量区域四边上移动测量矩形进行多次边缘点提取,对测量矩形提取的边缘点集使用  $RANSAC$  算法进行迭代,拟合出最佳的芯片边缘。

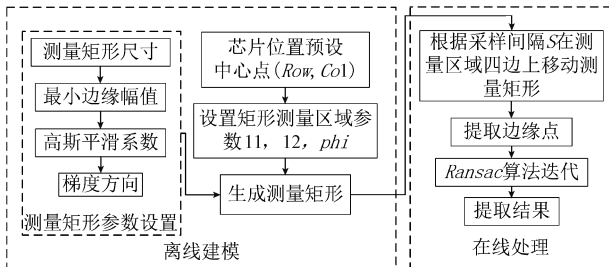


图 6 芯片区域提取流程

Fig. 6 Flow chart of die region extraction

测量矩形通过计算其中轴线上像素的灰度变化,根据预设的最小边缘幅值进行阈值筛选,将高于阈值的点作为边缘点。参数设置如下:测量矩形尺寸为  $200 \times 20$  pixels;最小边缘幅值为 30;高斯平滑系数为 1;由于芯片表面灰度值远高于边缘灰度值,将梯度方向为负的边缘点保留。算法通过改变测量矩形中心坐标和角度实现测量矩形的移动测量,如图 7 所示。

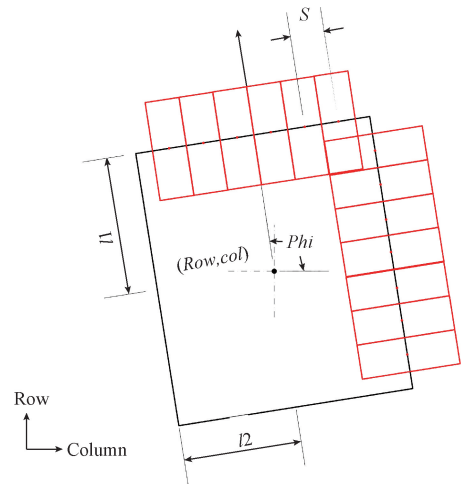


图 7 测量矩形移动测量

Fig. 7 Moving measurement using a rectangle ROI

图 7 中大矩形为矩形测量区域,其在图像中的倾斜角度为  $\phi$ ,其中心为预设的芯片位置中心  $(Row, Col)$ ,四边的小矩形代表测量矩形目标位置。测量矩形中心坐标的计算公式如下:

$$i_1 = (0, 2 \times \frac{l1}{S}) \quad (3)$$

$$Row_{left} = Row + (l1 - S \times i_1) \times \sin(\Phi) - l2 \times \cos(\Phi) \quad (4)$$

$$Col_{left} = Col - (l1 - S \times i_1) \times \cos(\Phi) - l2 \times \sin(\Phi) \quad (5)$$

$$Row_{right} = Row + (l1 - S \times i_1) \times \sin(\Phi) - l2 \times \cos(\Phi) \quad (6)$$

$$Col_{right} = Col - (l1 - S \times i_1) \times \cos(\Phi) + l2 \times \sin(\Phi) \quad (7)$$

$$i_2 = (0, 2 \times \frac{l2}{S}) \quad (8)$$

$$Row_{up} = Row + (l2 - S \times i_2) \times \cos(\Phi) - l1 \times \sin(\Phi) \quad (9)$$

$$Col_{up} = Col + (l2 - S \times i_2) \times \sin(\Phi) + l1 \times \cos(\Phi) \quad (10)$$

$$Row_{down} = Row + (l2 - S \times i_2) \times \cos(\Phi) + l1 \times \sin(\Phi) \quad (11)$$

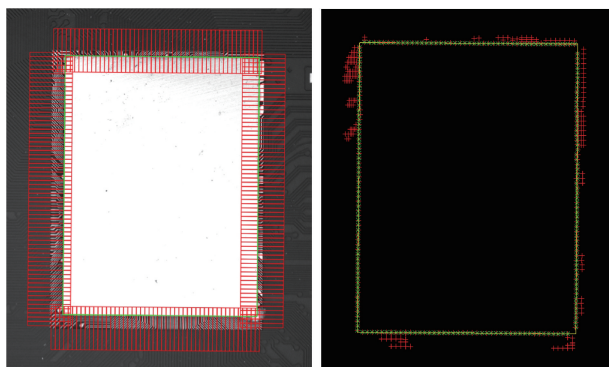
$$Col_{down} = Col + (l2 - S \times i_2) \times \sin(\Phi) + l1 \times \cos(\Phi) \quad (12)$$

式中:  $i_1$  为测量矩形在长边上移动的次数;  $i_2$  为在短边上移动的次数;  $S$  为采样间隔;  $l1$  为长半边长;  $l2$  为短半边长;  $(Row, Col)$  为矩形测量区域中心点;  $(Row_{left}, Col_{left})$  为左侧长边上测量矩形中心坐标;  $(Row_{right}, Col_{right})$  为右侧长边上测量矩形中心坐标;  $(Row_{up}, Col_{up})$  为上方短边上测量矩形中心坐标;  $(Row_{down}, Col_{down})$  为下方短边上测量矩形中心坐标。

down) 为下方短边上测量矩形中心坐标。本文矩形测量区域:  $l_1 = 624.013$ ,  $l_2 = 475.268$ ,  $S = 20$ 。测量矩形移动结果如图 8(a) 所示, 用实线绘出了每个测量矩形。矩形短边纵向放置测量矩形共移动 42 次, 长边横向放置测量矩形共移动 59 次, 共移动 210 次。

测量矩形提取了充足的候选边缘点, 但部分不属于芯片且远离芯片边缘的点为“噪声点”<sup>[21]</sup>, 必须使用不受噪声点干扰的算法进行矩形边缘拟合, 从而得到基于大量真实边缘点的拟合结果, 所以选择了 RANSAC 算法对边缘点集进行多次迭代得到最佳拟合结果。迭代过程中与拟合结果距离小于距离阈值  $t$  的点被归类为内点, 距离大于  $t$  的点被归类为外点, 外点被视为噪声点, 不参与拟合; 算法的理想情况是每个测量矩形至少提取到 1 个用于拟合的内点, 当内点数  $m$  与测量矩形总数的比值  $score$  大于预设值时此矩形被视为有效拟合结果, 若本次迭代拟合的矩形无法满足要求则被放弃, 进入下一次迭代, 直到获得最佳的拟合结果。为保证拟合结果准确, 将  $score$  最小值设为 0.9。

距离阈值  $t$  值的选择在 1~4 pixels 的范围内进行了测试,  $t$  设为 1, 2 时约 1/4 的非噪声点被错视为外点, 导致  $score$  过低无法输出有效的拟合结果, 为保证精度并避免将噪声点错视为内点, 将  $t$  设为 3。RANSAC 算法筛选边缘点进行矩形拟合的结果如图 8(b) 所示, 测量矩形共提取到 399 个候选边缘点, 用于拟合的有效内点为 207 个,  $Score = 207/210 \approx 0.986$  满足要求; 用实线连接边缘点所得的矩形为芯片区域提取结果, 靠近矩形边缘的点为内点, 使用  $\times$  标识; 远离矩形边缘的点为外点, 使用  $+$  标识。将提取结果在图像上显示并与芯片真实边缘进行对比, 矩形的四边与真实边缘的偏差均在 1 pixel 以内, 符合芯片提取的精度要求。



(a) 测量矩形移动结果  
(a) Results of moving rectangle ROI

(b) Ransac算法结果  
(b) Ransac results

图 8 芯片区域提取

Fig. 8 Die region extraction

#### 4) 芯片定位指标

对于位置偏移量检测, 在离线获取基准信息阶段, 提取了点  $(x_{cri}, y_{cri})$  作为偏移检测基准; 在实时图像检测阶

段, 图像经矫正和芯片提取得到点  $(x_{rel}, y_{rel})$ , 将其与基准数据代入下式计算:

$$x_{offset} = x_{rel} - x_{cri} \quad (13)$$

$$y_{offset} = y_{rel} - y_{cri} \quad (14)$$

式中:  $x_{offset}$  为 X 方向偏移量;  $y_{offset}$  为 Y 方向偏移量;  $(x_{rel}, y_{rel})$  为实时图像中 Corner1 和 Corner2 连线中点的像素坐标;  $(x_{cri}, y_{cri})$  为基准图像中 Corner1 和 Corner2 连线中点的像素坐标。根据相机标定结果, 像素距离与实际物理距离的换算关系可根据下式计算:

$$X_{offset} = k_x \cdot x_{offset} \quad (15)$$

$$Y_{offset} = k_y \cdot y_{offset} \quad (16)$$

式中:  $k_x, k_y$  是  $x$  和  $y$  方向上像素长度与物理长度的比值, 单位为  $mm/pixel$ , 通过相机标定得到;  $X_{offset}, Y_{offset}$  为实际的位置偏移量, 单位需换算为  $\mu m$ 。

## 2 实验与分析

在相同的测试条件下, 使用本检测系统对矩阵式测试盘上 10 枚芯片样品的位置偏移检测分别进行了 10 次重复, 共获得 100 个偏移测量数据, 如表 1 所示。根据表中测量值与参考值差值求得单次测量误差范围为  $-2.145 \sim 4.257 \mu m$ , 此误差范围满足检测系统的精度需求。同类研究中叶小奇<sup>[18]</sup>和李茹的研究对芯片的定位精度达到了亚像素级别, 最高达到  $21 \mu m$ <sup>[2]</sup>, 本文的检测精度有明显的优势。

表 1 偏倚与线性度分析数据

Table 1 Bias and linearity analysis data

编号	测量值/ $\mu m$					平均值/ $\mu m$	参考值/ $\mu m$
1	0.85	0.60	0.09	1.42	0.22	0.697	2.235
	0.74	0.67	0.41	0.60	1.37		
2	1.09	1.31	1.34	1.15	1.49	1.254	2.547
	1.22	1.51	1.33	1.19	0.91		
3	2.97	2.70	2.46	2.41	2.55	2.611	3.097
	2.54	2.53	2.75	2.57	2.63		
4	3.77	3.48	3.75	3.4	3.61	3.686	3.548
	3.98	3.86	3.50	3.94	3.57		
5	5.44	5.46	5.25	5.25	5.58	5.393	4.235
	5.32	5.40	5.32	5.66	5.25		
6	6.17	6.18	6.29	6.10	6.42	6.241	4.588
	6.27	6.19	6.00	6.42	6.37		
7	7.54	7.12	6.56	6.89	6.89	7.046	5.124
	7.01	7.09	6.98	7.20	7.18		
8	8.47	8.05	8.46	8.52	7.96	8.399	6.024
	8.56	8.22	8.64	8.68	8.43		
9	9.17	9.36	9.31	9.53	9.48	9.379	6.496
	9.19	9.62	9.39	9.34	9.40		
10	11.38	10.78	11.14	11.16	10.88	11.095	7.123
	10.99	10.98	11.15	11.19	11.30		

为了验证本芯片偏移测量系统的准确性是否满足需求,使用了测量系统分析(MSA)中的偏倚与线性分析方法。偏倚表示对同一待测件多次重复测量的平均值与参考值之间的差异,也称为准确性,在测量系统的工作范围内的单个点上进行评估和表示;线性表示在测量系统的预期工作范围内偏倚值的差异,即操作范围内多个对象的测量是否有相同的准确度。

偏倚值使用如下公式计算:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (17)$$

$$Bias = \bar{X} - X_T \quad (18)$$

式中: $n$ 为测量次数; $X_T$ 为基准值; $X_i$ 为某一待测件的测量值; $Bias$ 为偏倚。偏倚评估使用样本极差法评估重复性标准差。

$$\delta_r = \frac{\max X_i - \min X_i}{d_2^*} \quad (19)$$

$$t = \frac{|Bias|}{\delta_r / \sqrt{n}} \quad (20)$$

式中: $\delta_r$ 为重复性标准差; $d_2^*$ 为自由度,需查测量系统分析参考手册(AIAG)得出。 $\delta_r$ 用于计算 $t$ 值,进而查 $t$ 分布表确定 $p$ 值,使用 $p$ 值检验所有参考值的偏倚是否为0。根据以上公式计算所有芯片偏倚如表2所示。

表 2 偏倚分析结果

Table 2 Results of bias analysis

参考值/ $\mu\text{m}$	偏倚/ $\mu\text{m}$	$p$
2.235	-1.538	0.000
2.547	-1.293	0.000
3.097	-0.486	0.000
3.548	0.138	0.045
4.235	1.158	0.000
4.588	1.653	0.000
5.124	1.922	0.000
6.024	2.375	0.000
6.496	2.883	0.000
7.123	3.972	0.000
平均	1.078	0.000

由表2可知,偏倚平均值为 $1.078 \mu\text{m}$ ,在95%的置信概率下,测量范围内所有 $p$ 值均小于 $\alpha = 0.05$ ,说明该测量系统在测量范围内存在整体偏倚,需进一步验证测量系统是否具有线性。

偏倚与参考值的回归线的计算公式如下:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^m (x_i - \bar{x}) y_{ij}}{\sum_{i=1}^g m (x_i - \bar{x})^2} \quad (21)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (22)$$

式中: $a$ 为斜率; $b$ 为截距; $x_i$ 为样品 $i$ 的参考值; $\bar{x}$ 为所有样品的平均参考值; $y_{ij}$ 为第 $i$ 个样品的第 $j$ 个测量值的偏倚; $g$ 为样品数; $m$ 为测量次数; $\bar{y}$ 为整体偏倚均值。

通过 Minitab 软件使用表1的数据分析偏倚线性,使用 Minitab 软件的路径为“统计→质量工具→量具研究→量具线性和偏倚研究”。输出的线性与偏倚分析报告如图9所示,偏倚与参考值的回归方程为: $y = 1.07452x - 3.7588$ ,95%置信区间未包含偏倚0线,常量和斜率的 $p$ 值均为0小于 $\alpha = 0.05$ ,说明测量系统对于所有的参考值存在线性。根据线性的可接受准则:偏倚量与其测量基准值呈线性关系。可知本测量系统可根据偏倚回归方程求得任何一个量程处的修正值,得出结论本测量系统的偏倚可接受。

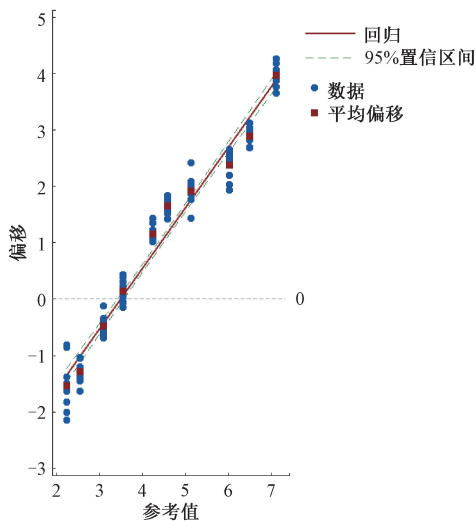


图 9 线性与偏倚分析报告

Fig. 9 Linearity and bias analysis report

通过多次实验求得本系统对芯片行列数为 $5 \times 12$ 的矩阵式测试盘的平均检测时间为 $64.5 \text{ s/盘}$ ,而前序划片机和贴片机的最短装盘时间约为 $75 \text{ s/盘}$ ,所以本系统的实时性与前序加工工序完美匹配,满足芯片生产线的实时性需求。目前的芯片检测相关研究已经开发出了芯片的定位、缺陷检测等技术,但这些研究大部分是静态检测<sup>[2-10]</sup>,仅针对检测算法但未对检测系统的实际应用场景进行研究,没有形成完整的自动化检测系统。本文开发的芯片偏移检测系统兼顾了精度、生产线的实时性需求,具有明显的优势。

### 3 结论

本研究为实现矩阵式测试盘上芯片的偏移检测搭建的芯片偏移检测系统,能够自动上下料,对芯片进行高效率、高精度、自动化的在线检测。根据芯片偏移检测需求

和芯片特征提出的基于矩形测量模型的芯片提取算法,算法整体的复杂度低,处理图像的速度快,适用于工业在线检测。使用本系统对矩阵式测试盘上芯片进行了偏移检测实验。实验结果表明,检测系统实现了对芯片位置偏移的高精度在线检测,检测误差范围为  $-2.145 \sim 4.257 \mu\text{m}$ ;单片芯片偏移计算算法执行的平均时间为  $72.56 \text{ ms}$ ,检测轴的运行速度为  $20 \text{ mm/s}$ ,对芯片行列数为  $5 \times 12$  的矩阵式测试盘的平均检测时间为  $64.5 \text{ s/盘}$ ,满足系统的实时性需求;通过 *MSA* 中的偏倚与线性度分析方法对芯片位置偏移数据进行分析,结果表明系统的偏倚和线性都能满足需求。综上所述,本研究设计的芯片偏移检测系统有助于优化芯片制造工艺、提高产品良率、减少后续封装和测试的成本,有广阔的应用前景。

### 参考文献

- [ 1 ] ARDHY F, HARIADI F I. Development of SBC based machine-vision system for PCB board assembly automatic optical inspection [ C ]. 2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), 2016.
- [ 2 ] 李茹. 基于机器视觉的 FLIP CHIP 芯片检测与定位算法研究 [ D ]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.  
LI R. Research on the inspection and location algorithm of flip chip based on machine vision [ D ]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [ 3 ] 张静平. 基于机器视觉的 QFN 芯片表面检测系统设计 [ D ]. 南京: 东南大学, 2017.  
ZHANG J P. Design of QFN chip surface detection system based on machine vision [ D ]. Nanjing: Southeast University, 2017.
- [ 4 ] LIN H, LI B, WANG X, et al. Automated defect inspection of LED chip using deep convolutional neural network [ J ]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2018, 30(6): 2525-34.
- [ 5 ] 安胜彪, 娄慧儒, 白宇. 一种改进 YOLOv4 的半导体芯片表面字符识别算法 [ J ]. 国外电子测量技术, 2022, 41(4): 77-82.  
AN SH B, LOU H R, BAI Y. Character recognition of semiconductor chip surface based on improved YOLOv4 [ J ]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2022, 41(4): 77-82.
- [ 6 ] 金贺楠. 基于机器视觉的 SOP 芯片引脚缺陷检测的研究与应用 [ D ]. 沈阳: 东北大学, 2019.  
JIN H N. Research and application of SOP chip pin defect detection based on machine vision [ D ]. Shenyang: Northeastern University, 2019.
- [ 7 ] WANG Z, GONG S, LI D, et al. Error analysis and improved calibration algorithm for LED chip localization system based on visual feedback [ J ]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 92(9-12): 3197-3206.
- [ 8 ] TAO W, LONGWEN W, KANGHUA L. Study on automatic angle correction directed by machine vision in power LED dies sorting [ C ]. 2010 11th International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging, 2010.
- [ 9 ] WANG Z, GONG S, LI D, et al. LED chip visual servo positioning control under variable system parameters using adaptive dual rate Kalman filter with adaptive recursive least squares [ J ]. ISA Trans, 2020, 103: 280-294.
- [ 10 ] ZILI C, HONGLIN L. A feature-based automatic LED part locating method and the inspection of welding quality of LED chips [ C ]. 2020 IEEE 8th International Conference on Information, Communication and Networks (ICICN), 2020.
- [ 11 ] 陈恺. 集成电路芯片表面缺陷视觉检测关键技术研究 [ D ]. 南京: 东南大学, 2016.  
CHEN K. Research on key techniques for integrated circuit chip surface defects vision detection. [ D ]. Nanjing: Southeast University, 2016.
- [ 12 ] 张叶梅. 基于机器视觉的 TR 型芯片检测与定位算法研究 [ D ]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.  
ZHANG Y M. Research on the algorithm of TR-type chip detection and location based on the machine vision [ D ]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [ 13 ] 任柳清. 基于图像处理的 PCB 焊接缺陷检测方法研究及实现 [ D ]. 绵阳: 西南科技大学, 2021.  
REN L Q. Research and implementation of PCB welding defect detection method based on image processing [ D ]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2021.
- [ 14 ] 周伟, 巢渊, 李龔, 等. 基于改进 Harris 角点检测的芯片图像快速校正 [ J ]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(10): 74-81.  
ZHOU W, CHAO Y, LI Y, et al. Fast correction of chip image based on improved Harris corner detection [ J ]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2020, 34(10): 74-81.
- [ 15 ] 叶童. 多引脚芯片贴装视觉定位及检测技术研究 [ D ]. 武汉: 湖北工业大学, 2020.  
YE T. Research on visual positioning and detection technology of multi-pin chip mount [ D ]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2020.
- [ 16 ] ZHONG F, HE S, LI B. Blob analyzation-based template matching algorithm for LED chip localization [ J ]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 93(1-4): 55-63.

- [17] ELIAN F, HARIADI F I, ARSYAD M I. Implementation of computer vision algorithms for position correction of chip-mounter machine [ C ]. 2017 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), 2017.
- [18] 吴清潇, 苗锡奎, 欧锦军, 等. 基于机器视觉的高精度晶圆对准系统 [ C ]. 第九届全国信息获取与处理学术会议论文集 II, 2011:199-202.  
WU Q X, MIAO X K, OU J J, et al. High-precision machine vision-based wafer alignment system. [ C ]. The 9th National Conference on Information Acquisition and Processing, 2011, 199-202.
- [19] 叶小奇. 基于机器视觉的 LED 划片机定位技术研究 [ D ]. 长沙: 湖南大学, 2018.  
YE X Q. Research on alignment technology of LED dicing saw based on machine vision. [ D ]. Changsha: Hunan University, 2018.
- [20] 杨桂华, 唐卫卫, 卢澎澎, 等. 基于机器视觉的芯片引脚测量及缺陷检测系统 [ J ]. 电子测量技术, 2021, 44(18): 136-142.

YANG G H, TANG W W, LU P P, et al. Chip pin measurement and defect detection system based on machine vision [ J ]. Electronic Measurement Technology, 2021, 44(18): 136-142.

- [21] 张喜民, 余奇颖, 张金博, 等. 基于机器视觉的手机尾插件精密测量方法研究 [ J ]. 仪器仪表学报, 2019, 40(10): 47-54.  
ZHANG X M, YU Q Y, ZHANG J B, et al. Research on precision measurement method for mobile phone tail plug part based on machine vision [ J ]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019, 40(10): 47-54.

### 作者简介



**周钰** (通信作者), 2020 年于江苏大学获得学士学位, 现为江苏大学硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理与应用。

E-mail: 1275954172@qq.com

**Zhou Yu** (Corresponding author) received his B. Sc. degree from Jiangsu University in 2020. Now he is a M. Sc. candidate in Jiangsu University. His main research interests include digital image processing and applications.