

## 第十一届“认证杯”数学中国 数学建模网络挑战赛 承 诺 书

我们仔细阅读了第十一届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们接受相应处理结果。

我们允许数学中国网站([www.madio.net](http://www.madio.net))公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

**我们的参赛队号为：2747**

**参赛队员（签名）：**

队员 1：王丹丹

队员 2：隆佳君

队员 3：孟方舟

**参赛队教练员（签名）： 贾鹏飞**

**参赛队伍组别（例如本科组）：本科组**

## 第十一届“认证杯”数学中国

### 数学建模网络挑战赛

### 编号专用页

参赛队伍的参赛队号：（请各个参赛队提前填写好）：

2747

竞赛统一编号（由竞赛组委会送至评委团前编号）：

---

竞赛评阅编号（由竞赛评委团评阅前进行编号）：

# 2018 年第十一届“认证杯”数学中国 数学建模网络挑战赛第一阶段论文

题 目 机械零件加工过程中单个到多个零件的位置识别

关 键 词 图像降噪 像素坐标系 连通区域分离 位置识别

## 摘 要：

本文主要讨论机械零件加工过程中的图像处理方法，建立高效识别零件位置坐标的合理数学模型。

**针对问题一:**建立单个零件位置识别模型。第一步，分析零件轮廓示意图可知整体上零件的几何轮廓由 1 个矩形框和框内的 3 个不交叉圆形组成。零件结构固定，通过几何证明得出假设内部三个圆心构成非等边三角形，该三角形则可以唯一代表该零件位置特征，由此可将问题合理简化为特征三角形顶点坐标求解问题。经过第三步数据求解可以验证该假设成立，特征三角形选取正确、有效。第二步，原始数据预处理。原始数据构成二值图像像素矩阵，携带毛刺型噪声、背景块噪声、边缘缺损等噪声，结合不同图形处理方法优缺点，构造出一种数据预处理方法：膨胀、连通区域标记、细化、去除毛刺，处理结果效果优良，处理后轮廓图像清晰、连通，满足后续图像几何参数的求解要求。第三步，建立像素平面坐标系，Matlab 编程实现对三角形顶点坐标快速求解，计算三角形各边长 68.6773、76.6388、76.6388（结果均保留 4 位小数），该特征三角形为非等边三角形，用 3 个顶点坐标可以唯一确定零件位置：（252.8836,187.5616）、（329.5000,183.0342）、（287.2877,247.0000）。第四步，结合模型建立原理和时间复杂度二者衡量模型高效性，通过实验结果验证该模型处理结果精确、位置识别快速。

**针对问题二:**在单个零件位置识别基础上建立多个零件位置识别模型。结合工业机械零件过程中的实际情况，合理考虑零件之间不重叠的情况。首先，同样采用膨胀、连通区域标记、细化、去除毛刺四步降噪方法。然后通过连通区域分离方法，对每个零件分别标记，得出零件数量，实现对不同零件的区分。最后，在像素平面坐标系中，求解出整个平面特征三角形的顶点坐标，容易得到，与每个零件中心距离最近的三个顶点即构成该零件的特征三角形。此时，区分出多个特征三角形，求解出各特征三角形顶点，即可以唯一识别不同零件位置。DATA2 数据求解结果可得平面有两个零件，确定位置的坐标组分别为（329.4863,183.0411）（252.8836,187.5685）（287.2740,247.0000）、（252.8836,375.4658）（188.9315,417.6712）（248.3699,452.0753）。

参赛队号： 2747

所选题目： C 题

参赛密码 \_\_\_\_\_  
(由组委会填写)

## Abstract

This paper mainly discusses the method of image processing in machining process of machine parts, and establishes a reasonable mathematical model for the efficient identification of position coordinates of parts.

For problem 1: establish a single part location identification model. The first step is to analyze the sketch map of the parts. It can be seen that the geometric outline of the part is composed of a rectangular frame and three uncrossed circles in the frame. Parts of fixed structure, through the geometric proof assumptions, three circle inside the equilateral triangle, the triangle can only represent the part location feature, this problem can be simplified as reasonable characteristic triangle vertex coordinate to solve the problem. The third step data solution verifies that the hypothesis is established, and the characteristic triangle is selected correctly and effectively. The second step is the raw data preprocessing. Raw data form for binary image pixel matrix, carrying type burr noise, background noise and edge defect such as noise, combining with the advantages and disadvantages of different image processing methods constructing a data preprocessing method: inflation, connected component tag, refinement, deburring, processing result effect is good, after processing contour image clarity, connected, meets the requirements of subsequent image geometric parameters. The third step is to solve the position coordinates of the parts. Establish planar pixel coordinate system, the Matlab programming to realize the triangle vertex coordinates quickly solve, calculate each triangle side length 68.6773, 76.6388, 76.6388, (the results are reserved 4 decimal places), the characteristic triangle is an equilateral triangle, with three vertex coordinates can be uniquely identified parts location: (252.8836, 187.5616), (329.5000, 329.5000), (287.2877, 287.2877). In the fourth step, combining the principle of the model and the time complexity, the model is highly effective. The experimental results verify that the model is accurate in processing and fast in position recognition.

Aiming at problem two: establishing multiple parts location recognition model based on the location identification of single parts. In combination with the actual situation in the process of industrial machinery parts, it is reasonable to consider the non-overlapping between the parts. First of all, the method of four step noise reduction of burr is also used to mark, refine and remove the burr. Then, by means of the connected area separation method, each part is marked separately, and the number of parts is obtained, and the distinction between different parts is realized. Finally, the vertex coordinates of the entire plane characteristic triangle are solved, which is easy to be obtained, and the most recent three vertices of each part center are the characteristic triangle of this part. At this point, we can distinguish multiple characteristic triangles and solve the vertex of each characteristic triangle, that is, the location of different parts can be uniquely identified. The DATA2 data solution results can have two parts in the plane, and the coordinate group of the location is (329.4863,183.0411) (252.8836,187.5685) (287.2740,247.0000), (252.8836,375.4658) (188.9315,417.6712) (248.3699,452.0753).

**Key words** : Image Noise Reduction    Pixel Coordinate System    Connected Area Separation    Location Identification

## 一、问题重述

### 1.1 问题背景<sup>[1][4][5]</sup>

机械零件几何形状和尺寸以及其他参数的自动测量一直是工业生产的重要环节，其检测结果直接影响着生产效率和产品质量。而传统的人工接触式测量方法耗费人力、物力大,检测效率极低。随着现代工业的发展和进步，传统的检测手段已不能完全满足现代化工业生产对机械零件测量精度和速度的高要求。并且随着计算机技术的迅速发展，基于图像处理的机械零件检测方法已经成为现代化检测技术的发展趋势之一，基于图像的零件测量具有非接触、适合测量易变形、微小尺寸和窄缝宽度、液滴直径、大型机械尺寸、复杂机械的结构尺寸和异形机械曲面尺寸等传统测量方法难以测量的特殊尺寸的优点,并且在测量效率、测量的方便性等方面具有特别的优势。现在数字图像处理已经广泛应用到现代工业生产中的零件及产品无损检测、流水线零件自动检测识别、产品生产在线质量监控等领域。

通过数字图像获取的各项参数中，机械零件的位置数据有着举足轻重的地位。在制定零件加工的工艺规程时，正确地选择工件的定位基准有着十分重要的意义，因为定位基准的好坏，不仅影响零件加工的位置精度，而且对零件各表面的加工顺序也有很大的影响。合理的选择定位基准是保证加工精度的前提，还能简化加工工序，提高加工效率。在这样的背景下，我们提出了一种机械零件加工过程中的零件位置识别方法。

### 1.2 问题重述

在工业制造自动生产线中，在装夹、包装等工序中需要根据图像处理利用计算机自动智能识别零件位置，并由机械手将零件自动搬运到特定位置。某零件轮廓图以及零件搬运前后的位置示意图已经给出。第一阶段讨论 2 个问题：

问题一：根据附件 DATA1 中给出的零件轮廓数据，请建立数学模型，识别计算出给定零件的位置坐标，并分析评价求解零件位置的算法是否快速高效。

问题二：问题 1 讨论的是单个零件放置于平面操作台上的情况。有时我们需要处理多个零件显示在同一图像中的情况，请根据附件 DATA2 中的数据，建立数学模型，识别出不同零件的位置。

## 二、问题分析

本文研究的根本问题在于：预处理图像数据，建立高效识别零件位置坐标的合理数学模型。图像原始数据中往往存在多种噪声，有效地去除噪声将对后续的检测、识别等工作至关重要。对零件位置的识别则建立在几何分析基础上，选取图像特征点代表整个零件，显然，确定特征点的位置坐标即可对零件在平面操作台上的位置唯一确定。

### 2.1 问题一的分析：

第一步，建立单个图形位置识别模型，用特征图形位置唯一确定零件位置。分析零件轮廓示意图，零件整体上的几何结构由 1 个矩形框和框内的 3 个不交叉圆形组成。通过几何分析可知，3 个圆形圆心相连可以唯一确定 1 个特征三角形，零件结构固定，假设内部特征三角形为非等边三角形，在此基础上确定三角形三顶点的坐标即可唯一确定这个零件的位置，因此特征三角形 3 个顶点将作为零件特征，将问题合理简化为内部 3 个圆形的圆心坐标确定问题。经过第三步数据求解可以验证该假设是否成立，如果成了该特征三角形选取有效；如果为等边三角形，则需要增加矩形外框中心点为 1 个特征点辅助识别。

第二步，原始数据预处理。分析附件 DATA1 中给出的零件轮廓数据可知，数据仅由数值 0 或 1 构成，数据大小为 420 行\*560 列，组成一个二值图像像素矩阵。由于原始数据绘制出的二值图像携带毛刺型噪声和背景噪声，因此首先通过膨胀、连通区域标记、细化、去除毛刺四步数据预处理，得到清晰、连通的轮廓图像。

第三步，零件位置坐标求解。建立像素坐标系，以图像区域左上角为坐标原点，水平向右方向为 x 轴，竖直向下方向为 y 轴。在经过第一步预处理，二值像素图像中的图形已经都转化为连通区域，运用 Matlab 即可快速求解得到三角形顶点坐标，分析顶点间的距离，特征三角形三边边长不完全相当即已经得到零件位置坐标；相反，三边边长相等则用特征三角形及矩形中心特征点共同标记位置。

第四步，分析评价采用特征图形位置模型求解零件位置方法的高效性。高效性通过算法准确度和时间复杂度二者结合衡量。几何图形分析出的特征三角形唯一确定了零件的位置、摆放角度等，通过分析原理是否正确以及得出的结果来判断该方法的准确性，通过程序复杂度衡量算法时间复杂度。

## 2.2 问题二的分析：

在第一问求解中，已经得出了单个零件位置识别模型，在此思路上进行平面多个零件位置识别。结合工业机械零件加工过程中的实际情况，合理考虑零件之间不重叠的情况。

首先运用上图中数据预处理方法对附件 DATA2 数据进行预处理，得到去除噪声后的轮廓图形数据。然后使用连通区域标记法通过零件边缘轮廓识别，判断出零件数量，对每个零件分别标记，达到对不同零件区分的效果。最后，求解出整个平面特征三角形的顶点坐标，容易得到，与每个零件中心距离最近的三个顶点即构成该零件的特征三角形。此时，特征三角形或者特征三角形与矩形中心坐标唯一确定了零件位置特征，即识别出了不同零件位置。

## 三、模型假设

假设 1：附件提供的零件位置数据在可靠条件下获得，如环境（如光照）稳定、摄像机摄像效果良好；

假设 2：零件的结构标准，忽略微小并且特殊的结构细节；

假设 3：多个零件在平台上的摆放没有重叠；

假设 4：多个零件间的结构差异微小，可以认为所有零件结构相同，且忽略差异不会对该零件位置识别造成影响。



## 四、符号说明

表 1.主要符号说明

符号	说明
$S$	小连通域面积阈值
$SE$	结构矩阵
$thin$	细化的字符串
$spur$	去毛刺的字符串
$A$	问题一圆心 1
$B$	问题一圆心 2
$C$	问题一圆心 3
$P$	圆心与各自矩形中心点距离阈值
$p_i$	第 $i$ 个像素点
$Centroid$	求连通区域重心的字符串
$o$	分类之后并存储圆心坐标的矩阵

## 五、模型的建立与求解

### 5.1 模型准备<sup>[6][7]</sup>

#### 5.1.1 二值图<sup>[1]</sup>

二值图中是数字图像中的一种特殊类型，只有黑白两种像素，黑白色对比明显，易于观察到清晰的轮廓，再在此基础上进行参数的识别和提取。由于图像处理的二值化过程中引入噪声，因此在二值图像提取出我们需要的几何特征前，有必要进行二值图像去噪。目前图像处理领域发展迅速，由于其广阔的运用范围，以及是处理大部分实际问题的必经手段，因此涌现了众多图像处理的研究。基于图像处理的重要性，一般情况下的新算法新理论的出现首先就会被运用于图像领域，并且在数据预处理、特征提取、模式识别中成果丰硕，数量众多的新方法各自在处理某一个问题下有一定的优势，但并没有能够大量普适性应用，计算过程普遍较为复杂。

在图像识别的一般过程中，首先将彩色 RGB 图像变为灰度图像，再对灰度图进行 0-1 处理，变为二值图像。分析我们需要处理的数据共 420 行、560 列，数据组成为 0



和 1，已经是经过处理后的二值图像数据，并且经过了边缘轮廓提取，是带有噪声的零件轮廓的原始数据，直接使用原始数据可以通过 Matlab 绘图得到原始二值图像。

### 5.1.2 数字图像降噪

在数字图像降噪中有多种方法，典型的方法有均值滤波、中值滤波、小波分析法、数学形态法、阈值面积法、标识法等，每种方法在不同类型的噪声处理中有不同的优势和不足，需要针对不同类型的噪声采用合适的处理方法，或者选用多个降噪算法组合滤除噪声。

观察原始数据图像，原始数据中的像素点数值 1 处为白色，数值 0 为黑色，白色像素点组成的曲线应是我们的目标轮廓曲线。为了画出的图像更加清晰便于观察，我们将背景中的黑色像素点表示为白色圆点，白色轮廓像素点表示为蓝色圆点，以下的所有图像都默认采用该定义。

以 DATA1 原始数据作为例子分析，原始二值图像展示如下：

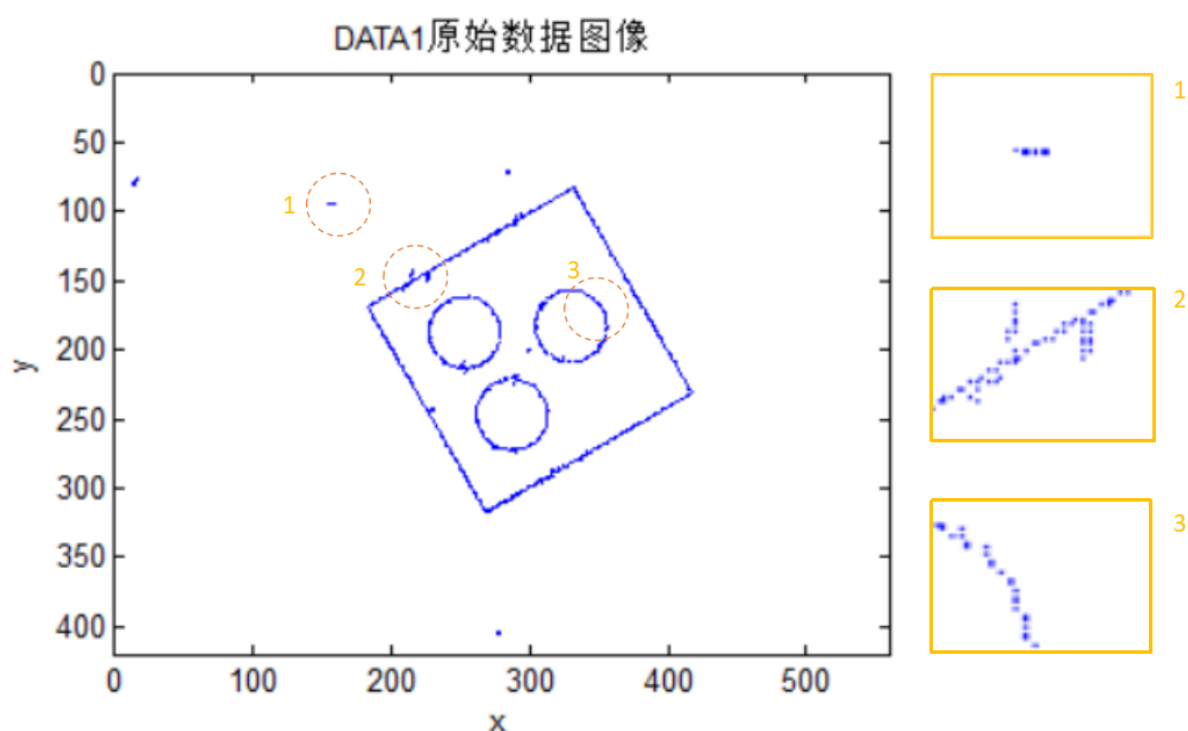


图 1. DATA1 原始数据图像及 3 种类型噪声细节图

（定义在绘制的图像中：黑色像素点表示为白色圆点，白色轮廓像素点表示为蓝色圆点）

在该原始数据图像中存在着三种类型噪声：背景中非均匀分布的块状噪声（图 1 噪

声 1)、目标轮廓上毛刺型噪声(图 1 噪声 2)、轮廓边缘缺损噪声(图 1 噪声 3)。这三种噪声不是一般灰度图像中的高斯白噪声和椒盐噪声,同时由于轮廓曲线宽度小,中值滤波和二维小波变换不能取得良好效果,在 Matlab 中使用时整个图像中的白色像素点被全部去除,并不满足我们的需求。同时,可以在 DATA1 的原始数据图像中看到在零件轮廓之外的其他部分存在蓝色的块状噪声,运用数学形态学中的腐蚀运算,在一定程度上可以腐蚀掉部分蓝色小块,但对于较大的蓝色杂质块,要求更高的腐蚀程度,这样会导致器件图像严重变形,导致目标轮廓上的白色小洞面积扩大,目标曲线断裂明显,不利于后期对几何特征提取。于是我们放弃腐蚀运算来除噪。但由于题目给的数据圆的线不是连通在一起的,若先采用常规的去噪会将圆形的轮廓当成小噪音给去除掉,在此我们首先采用膨胀的办法将不连通的圆形轮廓给连通,再设置一定的大小的面积  $S$ ,去除小于面积  $S$  的连通域可以有效去除图像背景的蓝色像素块得到完整的正方形连通域和三个圆的连通域。而对于二值图像中零件边缘与毛刺噪声的特征采用其相应的特殊的除噪方法。我们将在下文的描述中做详细的解释。

### 5.1.3 图像领域

在图像中,最小的单位是像素,每个像素周围有 8 个邻接像素,常见的邻接关系有 2 种:4 邻接与 8 邻接。4 邻接一共 4 个点,即上下左右,如下图所示。8 邻接的点一共有 8 个,包括了对角线位置的点,如下图所示。

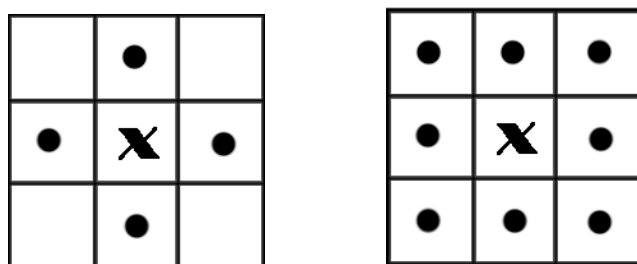


图 2.4 连通区域及 8 连通区域示意图

如果两个像素点邻接,我们称二者连通,于是我们不加证明的有如下的结论:如果  $p_1$  与  $p_2$  连通,  $p_2$  与  $p_3$  连通,则  $p_1$  与  $p_3$  连通。

在视觉上看来,彼此连通的点形成了一个区域,而不连通的点形成了不同的区域。这样的所有点彼此连通点构成的集合,我们称为一个连通区域。利用连通区域的连通特性,我们可以在此基础上很方便的使用各种算法对图像进行之后的操作。

### 5.1.4 像素平面坐标系定义

像素平面坐标系为描述图形位置所建立的像素坐标系像素平面坐标即像素的行、列所标识的坐标，如下图所示：

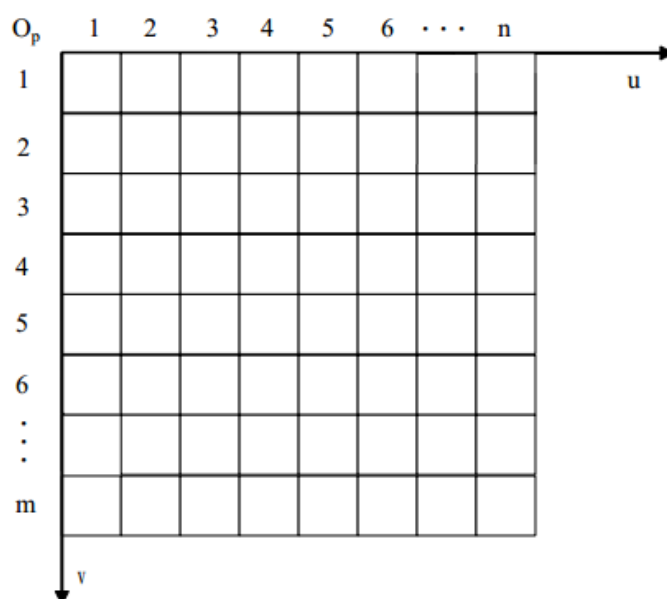


图 3. 像素平面坐标示意图

在上图像素矩阵中，每个矩形为一个像素点，矩形的长宽定义为单位长度 1，用每个矩形像素点的行数列数分别代表左上角点的横纵坐标，则可以将像素平面坐标系转换为二维平面直角坐标系。直角坐标系与像素坐标系的对应关系：直角坐标系中的起点 (1,1)，由图像像素矩阵中的第 1 行、第 1 列的矩形区域表示。

## 5.2 问题一：基于特征三角形的单个零件位置识别<sup>[1][6][7]</sup>

### 5.2.1 建立单个零件位置识别模型

#### 1. 零件位置的特征表示方法

首先介绍确定平面的图形位置的三个要素：参考物体、距离、方向。我们可以先将图形的一点当作整个图形，建立了直角坐标系，原点为参考点，这点的坐标就包括了方向与距离，但仅仅确定一个点坐标，若这个图形不是中心对称图形，且取的这一个点不是这个中心图形的中心点的话，图形绕这个点旋转的话，就只确定了位置没有确定摆放方向，若取另一不同于之前的一点，绕之前的点旋转，旋转角度的不同那么图形摆放位置就不同，这样我们可以建立一个数学模型，先确定图形的一个点为起点，再取另一个点为终点，得到一个向量，这个起点确定图形的位置，终点确定图形旋转方向，所以只需要位置和旋转方向。

2.单个零件位置识别

结合我们这个题实际分析，给出的零件图形，为一矩形内部有着三个圆，这个图形最好找的几个特征值是矩形中心和圆的圆心，那么可由矩形中心为起点确定位置，其中一个圆心为终点确定旋转方向，所以难点在于用 **Matlab** 将找到的特征点的进行区分，区别找到的三个圆心坐标，哪一个才是之前规定的圆心坐标，由于依据肉眼观察，无法准确分辨题目给出的图形里面的圆心相连是等边三角形，或者不规则三角形。

圆心构成等边三角形情况示意图如下：

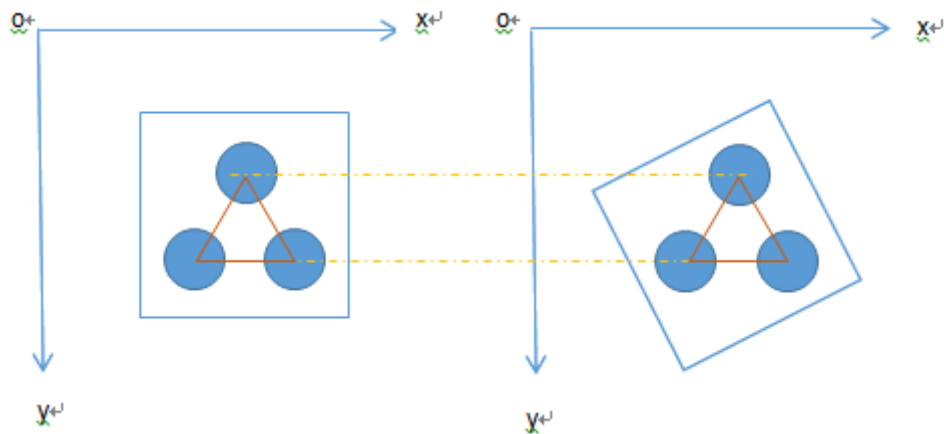


图 4. 等边特征三角形表示零件位置示意图

观察上图的等边三角形，仅凭中心点坐标与三个圆心的坐标是无法确定哪个圆心是之前规定的圆心，无法对应，确定不了图形的方向，还需求出其他的特征点，比如矩形的四个角。

若是不规则的三角形，非等边三角形情况示意图如下：

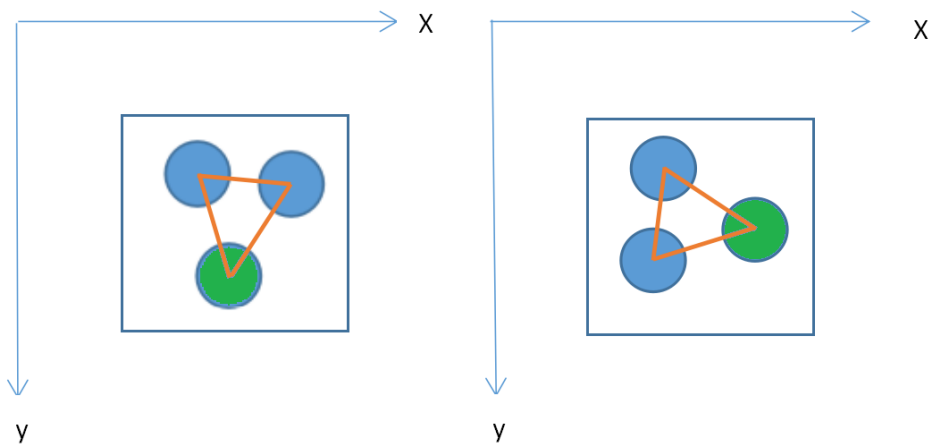


图 5. 非等边特征三角形表示零件位置示意图

因为不规则三角形与外面矩形的位置相对，没有对称现象，若确定了这个不规则三角形的三个点坐标（也就是三个圆的圆心），也就确定了这个图形的已旋转方向。

在后续过程中，我们将预处理结束后的数据导入 Matlab，求解出零件的相关参数，可以确定用那种方式表达这个零件的位置方向。经过计算可知该特征三角形为非等边三角形，由此，我们提出单个零件位置识别整体思路，模型过程展示如下：

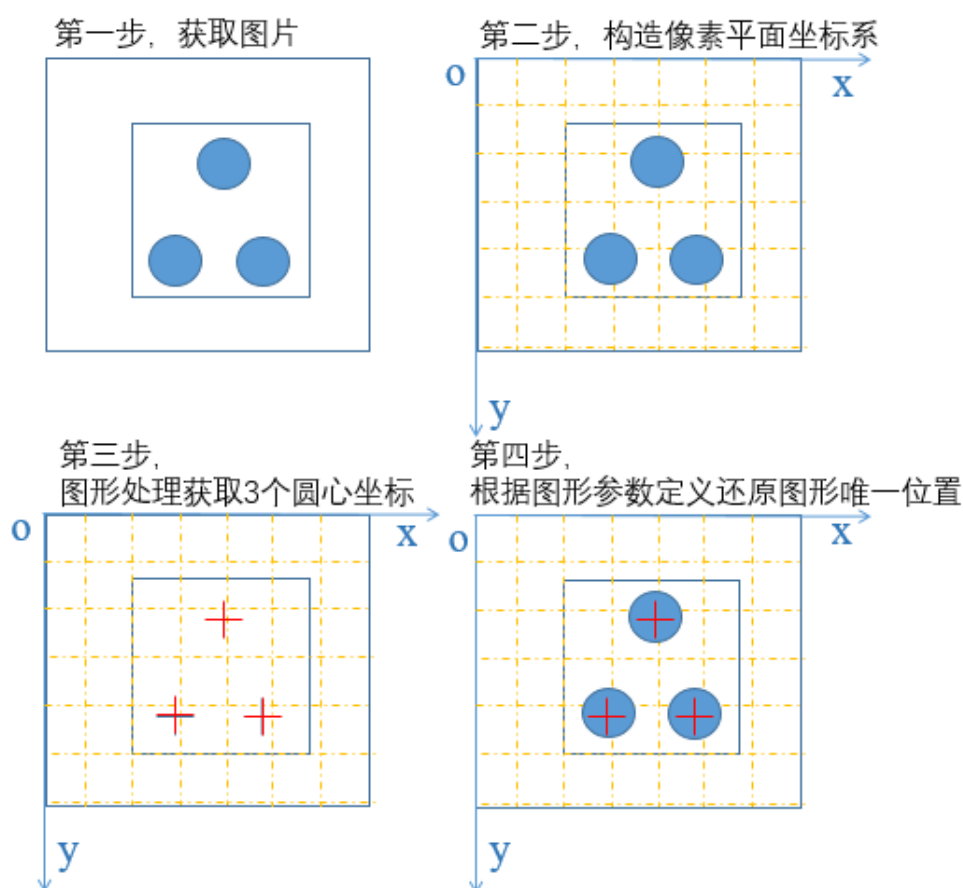


图 6. 单个零件位置识别模型步骤图

## 5.2.2 二值像素图像预处理

### 1. 膨胀

数学形态学中二值图像的形态变换是一种针对集合的处理过程。其形态算子的实质是表达物体或形状的集合与结构元素间的相互作用，结构元素的形状就决定了这种运算所提取的信号的形状信息。形态学图像处理是在图像中移动一个结构元素，然后将结构元素与下面的二值图像进行交、并等集合运算。

基本的形态运算是腐蚀和膨胀。

在形态学中，结构元素是最重要最基本的概念。结构元素在形态变换中的作用相当于信号处理中的“滤波窗口”。用  $B(x)$  代表结构元素，对工作空间  $E$  中的每一点  $x$ ，腐蚀和膨胀的定义分别为：

$$X = E \otimes B = \{x : B(x) \subset E\} \quad (1)$$

$$Y = E \oplus B = \{y : B(y) \cap E \neq \Phi\} \quad (2)$$

用  $B(x)$  对  $E$  进行腐蚀的结果就是把结构元素  $B$  平移后使  $B$  包含于  $E$  的所有点构成的集合。用  $B(x)$  对  $E$  进行膨胀的结果就是把结构元素  $B$  平移后使  $B$  与  $E$  的交集非空的点构成的集合。先腐蚀后膨胀的过程称为开运算。它具有消除细小物体，在纤细处分离物体和平滑较大物体边界的作用。先膨胀后腐蚀的过程称为闭运算。它具有填充物体内细小空洞，连接邻近物体和平滑边界的作用。

可见，二值形态膨胀与腐蚀可转化为集合的逻辑运算，算法简单，适于并行处理，且易于硬件实现，适于对二值图像进行图像分割、细化、抽取骨架、边缘提取、形状分析。但是，在不同的应用场合，结构元素的选择及其相应的处理算法是不一样的，对不同的目标图像需设计不同的结构元素和不同的处理算法。结构元素的大小、形状选择合适与否，将直接影响图像的形态运算结果。

Matlab 主要程序如下：

```
se = ones(3);
modiDim = imdilate(D1,se,1);
```

用 Matlab 自带函数实现膨胀处理：imdilate，构建一个 3\*3 值全为 1 的结构矩阵 SE，实现对圆轮廓空洞的填充，以便后面进行特征几何提取。

## 2. 连通区域标记

在我们对图像进行膨胀处理过之后，需要对图像的孤立的区域进行去除噪声的操作，打开二值文件，发现孤立的块状噪声并不是孤立的单像素点，而是由多个像素点聚集在一起形成的连通区域，于是我们就选择采用连通区域标记对膨胀处理过的图像删除小连通域的的进行大致的降噪处理。

虽然目前对数字图像降噪处理的方法非常多，例如，均值滤波、中值滤波、小波分析算法等。但它们在二值图像轮廓骨架很小的情况下降噪处理中效果并不是特别的好，容易将有用的像素点当成噪点给去除掉。甚至将封闭的区域变为缺失了像素点的不连通的区域。这样会对后续的操作带来极大的麻烦，所以并没有用上述常用的方法。

从连通区域的定义可以知道，一个连通区域是由具有相同像素值的相邻像素组成像素集合，因此，我们就可以通过这两个条件在图像中寻找连通区域，对于找到的每个连通区域，我们赋予其一个唯一的标识（Label），以区别其他连通区域。对于对连通区域的标识通常有两种常见的算法，即：Two-Pass 法（两遍扫描法）以及 Seed-Filling（种子填充法）。

Two-Pass 法的大体思路为第一遍扫描时赋予每个像素位置一个 label，扫描过程中同一个连通区域内的像素集合中可能会被赋予一个或多个不同 label，因此需要将这些属于同一个连通区域但具有不同值的 label 合并，也就是记录它们之间的相等关系；第二遍扫描就是将具有相等关系的 equal\_labels 所标记的像素归为一个连通区域并赋予一个相同的 label。

种子填充法即选取一个前景像素点作为种子，然后根据连通区域的两个基本条件（像素值相同、位置相邻）将与种子相邻的前景像素合并到同一个像素集合中，最后得到的该像素集合则为一个连通区域。

得到每个不同标记的连通区域之后，我们可以根据连通区域二值图像像素点的值来确定连通区域的大小，在 Matlab 中我们可以直接调用函数求得二值图像中连通区域的面积大小，并且设定面积阈值，给小于阈值面积 S 的连通区域像素点全部赋值为 0，从而在整个图像中，将一些连通的噪点去除。

我们可以使用 bwareaopen 函数实现删除小连通域：

Matlab 程序语句如下：

```
BW=bwareaopen(modiDim,S);
```

S 为设置的阈值面积，modiDim 为经过膨胀处理的矩阵，BW 为新生成的去掉小噪音的矩阵。

### 3.细化

图像细化一般作为一种图像预处理技术出现，目的是提取源图像的骨架，即是将原图像中线条宽度大于 1 个像素的线条细化成只有一个像素宽，形成“骨架”，形成骨架后能比较容易的分析图像，如提取图像的特征。

细化基本思想是“层层剥夺”，即从线条边缘开始一层一层向里剥夺，直到线条剩下一个像素的为止。图像细化大大地压缩了原始图像地数据量，并保持其形状的基本拓扑结构不变，从而为文字识别中的特征抽取等应用奠定了基础。细化算法应满足以下条件：

① 将条形区域变成一条薄线；



- ② 薄线应位与原条形区域的中心；
- ③ 薄线应保持原图像的拓扑特性。

细化分成串行细化和并行细化，串行细化即是一边检测满足细化条件的点，一边删除细化点；并行细化即是检测细化点的时候不进行点的删除只进行标记，而在检测完整幅图像后一次性去除要细化的点。

细化具有不破坏连通域的连通性和保存形状的基本拓扑结构不变的特性，我们需要用这特性来更好的特征提取，得到更清晰的图形轮廓。

我们可以使用 `mtlab` 中的 `bwmorph` 函数实现细化。

Matlab 程序语句如下：

```
modiDim3=bwmorph(BW,'thin',Inf);
```

当 `bwmorph` 函数的字符串为 `'thin'` 时，是进行细化处理，`Inf` 指的是无限次。

#### 4.毛刺去除

当我们用细化获取更清晰的图形轮廓后，我们发现图形有着很多尖端，也就是毛刺，这些毛刺也是图形的噪音，得将毛刺去掉，故用 `bwmorph` 函数实现去除毛刺

当函数的字符串为 `'spur'` 时移除刺激（孤立）像素。比如：

0	0	0	0		0	0	0	0
0	0	0	0		0	0	0	0
0	0	<span style="border: 1px solid red; padding: 0 2px;">1</span>	0	→	0	0	<span style="border: 1px solid red; padding: 0 2px;">0</span>	0
0	1	0	0		0	1	0	0
1	1	0	0		1	1	0	0

以上四个步骤取得了良好去噪效果，每一步的处理结果和最终降噪处理效果展示如下：

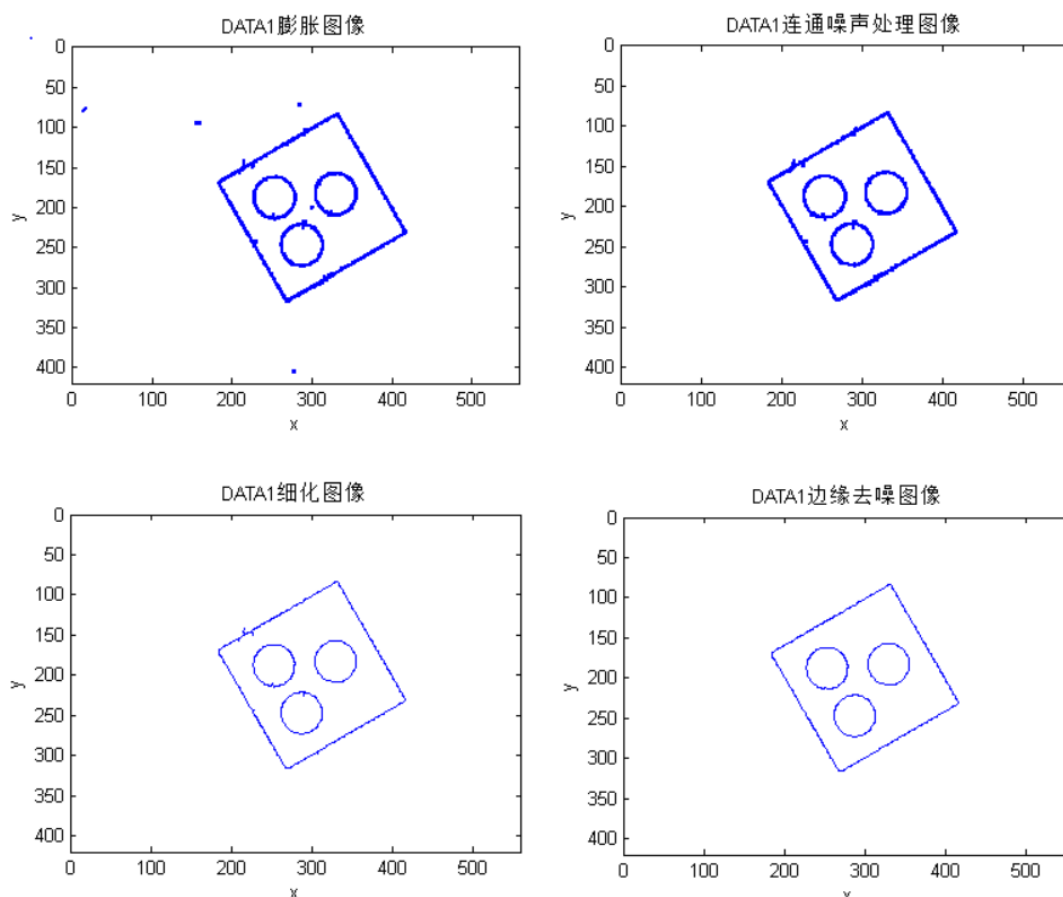


图 7. 问题一零件轮廓二值图像降噪过程及效果图

### 5.2.3 零件位置坐标求解

选择平面直角坐标系，观察零件轮廓示意图，在没有具体尺寸数据的情况下，直接分析可知该零件的大致几何图形构成：一个方形、三个圆形。通过几何分析，确定该零件在平面中的位置坐标，需要找出能够描述该零件唯一位置的特征点，既能够在零件几何结构基础上方便地直接提取，又具有唯一性。唯一性是指，这些特征点的位置一旦确定（零件的结构是固定不变的），就能够准确找出零件的摆放位置，不存在有方向的不确定性。

计算特征三角形边长公式：

$$l^2 = (x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2 \quad (3)$$

由之前的模型分析可知如构成圆心的三角形是个等边三角形则需矩形四个角和 3 圆心的 7 个坐标才能确定方向唯一，若不是等边三角形，则只需要三角形的三个点（即三个圆心）的坐标就可以让方向唯一确定。

通过 Matlab 的连通区域分割与基本参数提取可以得到圆心的坐标附录里有着得到

圆心坐标的函数。

表 2. 问题一零件像素平面坐标系下位置坐标

圆心	A	B	C
坐标	(252.8836,187.5616)	(287.2877,247.0000)	(329.5000,183.0342)

通过模型求解获取圆形的坐标，计算出在误差范围内三个圆心构成的可以看作是一个等腰三角形即可以用三个圆的三个坐标值，确定图形的位置、方向。

问题一单个器件位置坐标在下图中展示：

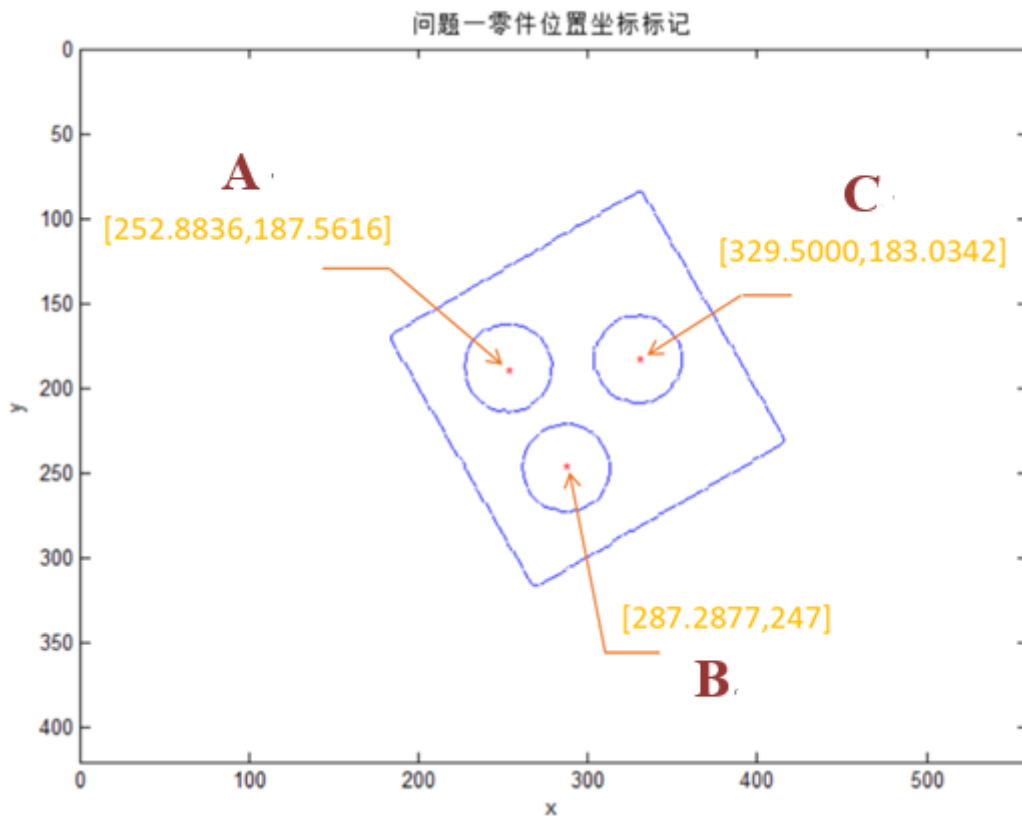


图 8. 问题一零件位置标记结果示意图

#### 5.2.4 算法分析评价

采用特征图形位置模型求解零件位置的思想符合几何图形学知识，模型中所选取的特征三角形为非等边三角形，该三角形在平面空间中任意摆放位置都可以用唯一的位置点确定，不存在对称或重复情况。在数据预处理以及坐标求解过程中，Matlab 程序中使用的函数高效稳定，算法简单，求解速度快，并且可以得到较为精确的基于像素平面坐

标系的位置坐标。结合模型建立原理和时间复杂度二者衡量模型高效性，通过实验结果验证该模型处理结果精确、位置识别快速。

### 5.3 基于连通域分离的多个零件位置识别模型

#### 5.3.1 多个原件分离情况

在第一问求解中，已经得出了单个零件位置识别模型，在此思路上进行平面多个零件位置识别。查阅资料可知，在实际的工业机械零件装夹、包装等工序中，产品、零件等通过传送带运送到处理机床平台上，中间通过振动机床或人工分捡，达到将需要送往下一级机床处理的物品平铺在传送带表面的效果，并且通常物品单个逐次排列在传送带上，便于下一级机床对物品的进一步有序操作。基于目前的工业机械零件加工流程特点，我们合理考虑普适情况：本题中的多个零件无重叠地摆放在平面操作台上。因此图像处理得到的附录 DATA2 数据为多个分离零件的轮廓数据，通过 Matlab 绘制位置示意图如下，可以验证我们的考虑在本问题中具有一定合理意义。

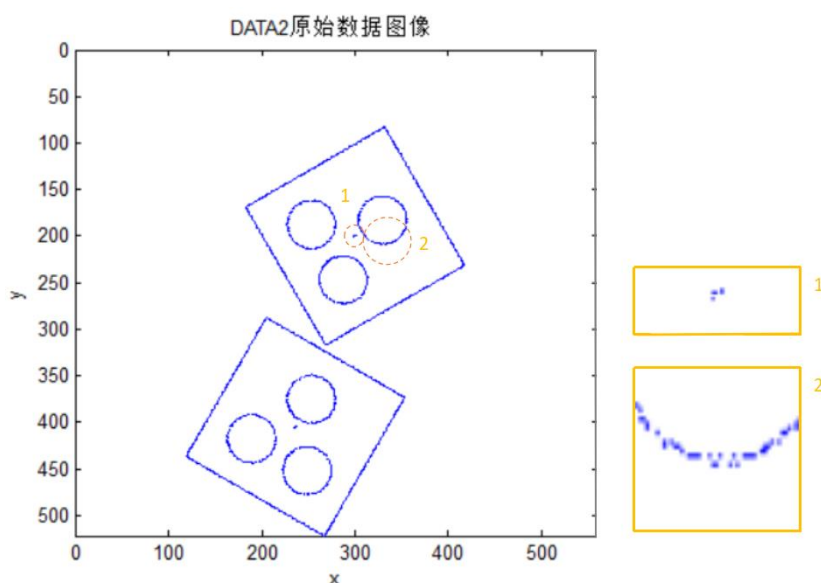


图 9. 问题二原始数据二值图形及噪声细节放大图

#### 5.3.2 数据预处理

通过第一题的图像处理，知道了零件的一些基本参数是一个正方形里面套了 1 个等腰三角形，重复之前的图像预处理方法对附件 DATA2 数据进行预处理。第一步，由于圆形区域是不连通的所以将整个二值图先用 3x3 矩阵膨胀使圆形区域连通，填充空洞，通过膨胀消除零件轮廓的间隔点；第二步，连通区域标记除噪，去除背景中多余像素块

噪声，；第三步，通过细化将膨胀之后的图像变为 1 个像素点构成的骨架，保持了图形连通形，减小可能存在的图形边缘宽度不完全在后续求圆形的中心造成的误差；第四步，边缘去噪去除毛刺，同样保证连通域不被破坏。各步骤处理结果如下图。1 2 再对噪音进行处理，将那些面积非常小的连通区域当成噪音给去掉，只留下圆形与矩形的由于给的图像本身是个骨架二值图，故再进行了细化减少膨胀对图形的影响 3 观察到给出的图形的连通区域有毛刺型的噪音，所以进行了去去尖端的操作。

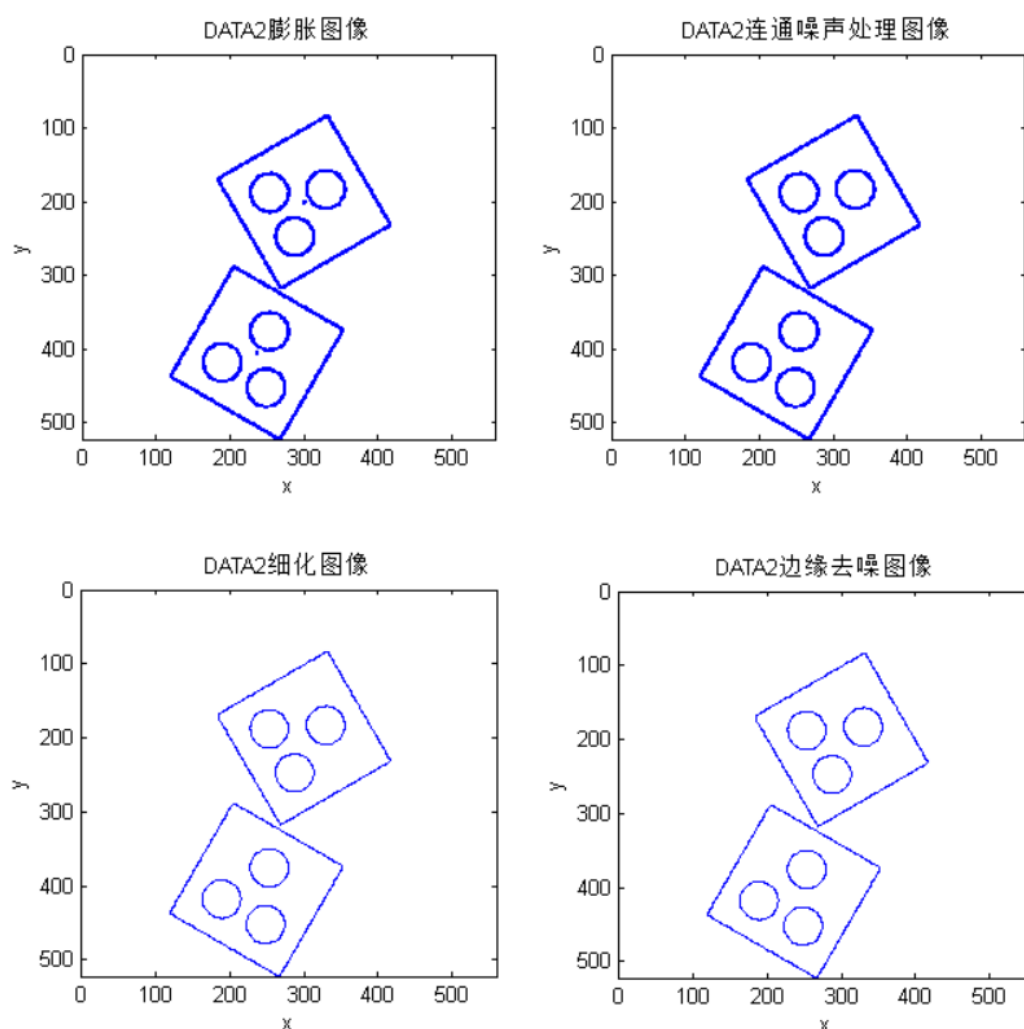


图 10. 问题二零件轮廓二值图像降噪过程及效果图

观察各步骤处理图像可以看出，该图像的主要问题是图像二值化中不可避免引入的边缘缺失，第四步边缘去噪处理之后得到的图形与原图比较，轮廓曲线像素点已经补充完整，构成一个个连通区域，可以用于下一步的零件分离和圆心识别。同时，原图中位于零件中心的点在去噪过程中被消除，由于改点为一个孤立点，在连通区域标记去噪中

被去除。这一结果说明零件中的孤立的点在图像预处理过程中难以保留，不适合当做特征点，选用连续的轮廓边界上的几何图形特征点，如顶点、中心、圆心等能够稳定地表达零件的位置特征；同时，零件内部三个圆形始终稳定存在，在去噪之后总够找到特征三角形，由三角形顶点坐标表示处零件位置特征，该结果反面印证了我们在单个零件位置识别模型具有一定普适性。

### 5.3.3 基于连通域标记的零件区分

需要我们求出多个图形放置在平面的情形如何确定零件位置，由题一可知，知道了一个零件的三个圆的圆心，即可以确定圆的位置，故第二题可以分解为找多个圆心并给圆心分类。在零件不重叠的条件下，图形中有多少个正方形就会有多个零件需要确定位置，故我们可以通过连通域标记先找出平面的多个正方形，再求出中心点即重心点以便后面的处理，再用之前去噪的图减去这个多个正方形图形得到只含多个圆形的图，求出每个圆心，分别计算每个正方形中心与每个圆心的距离的平方。

显然在零件不重叠的条件下，由上题计算出不为等边三角形时，得到了我们处理的零件具体几何参数，每个零件的各自的圆心到各自正方形中心的距离的平方大致为 1100 到 2500 之间，故我们设定一个标准值  $P$ ，值为‘3000’，故当有圆心与当前计算的正方形中心的距离的平方小于 3000 时即可认为它是属于当前这个正方形，由上述方法找出当前正方形中心的三个圆心就知道一个零件的位置，重复比较，就可以将没有特征的一堆圆心分类到各自的正方形中即可知道每个零件的位置。程序在附录里面可找到。

程序计算结果如下表：

表 3. 问题二零件像素平面坐标系下中心点坐标及位置坐标

零件标号	1		
零件中心	(299.8119,200.0203)		
位置坐标	(329.4863,183.0411)	(252.8836,187.5685)	(287.2740,247.0000)
零件标号	2		
零件中心	(235.8102, 405.1881)		
位置坐标	(252.8836,375.4658)	(188.9315,417.6712)	(248.3699,452.0753)

总体来说，首先得到去除噪声后的轮廓图形数据。然后通过零件边缘轮廓识别，判断出零件数量，对每个零件分别标记，达到对不同零件区分的效果。最后，求解出整个平面特征三角形的顶点坐标，容易得到，与每个零件中心距离最近的三个顶点即构成该

零件的特征三角形。此时，特征三角形或者特征三角形与矩形中心坐标唯一确定了零件位置特征，即识别出了不同零件位置。

最终结果在像素平面中标记做出图像：

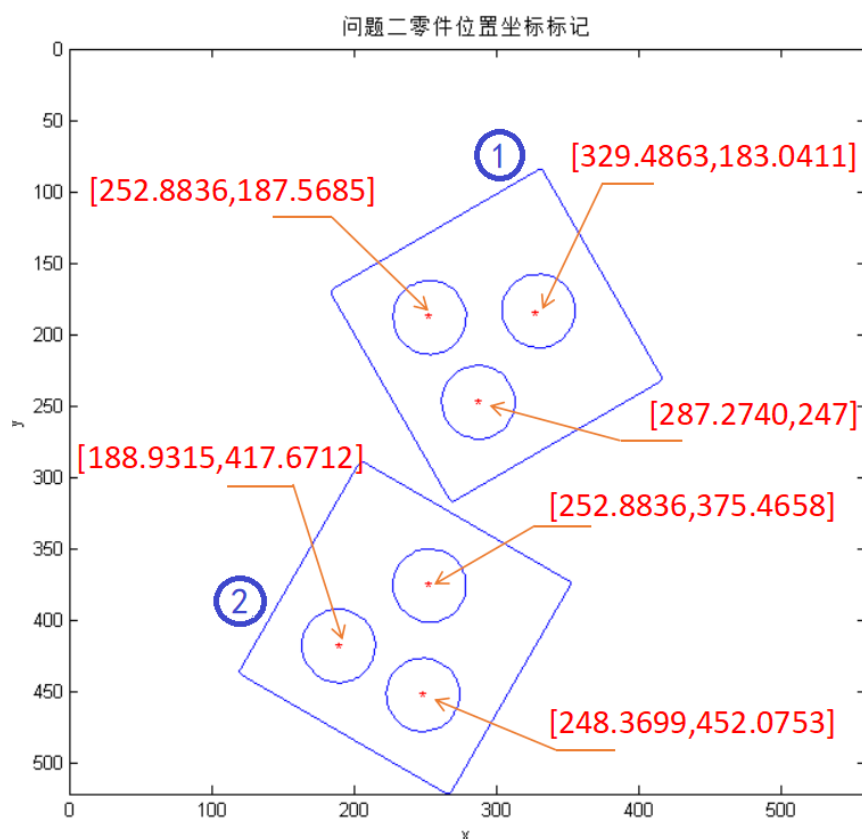


图 11. 问题二零件位置标记结果示意图

## 六、模型评价与改进

### 6.1 单个器件位置识别模型优缺点

优点：

通过特征三角形三顶点来确定图像位置，简单、精确、直观；从二值图像数据求解得到点的坐标过程快速，运算复杂度低，处理过程较为高效；得到了较为清晰的图，处理效果较好；特征几何图形的选取思想适用于一般情况下单个图形的位置确定。

缺点：

降噪方法在处理本组数据效果较好，对复杂结构零件轮廓图像处理的效果没有经过验证，无法完全保证多种情况下都能精准、效果优良。



## 6.2 多个器件位置识别模型优缺点

优点：模型简单易懂，便于编程计算；综合了 Matlab 中典型函数的优点，取长补短，较为高效地实现了由一个到多个原件的识别和位置坐标的确定。

缺点：该模型针对问题中的零件位置能够高效识别，没有建立通用型的模型，处理其他轮廓结构的器件；适用于工业零件加工处理的一般情况，无法处理零件重叠下的问题。

## 6.3 模型改进<sup>[2][3]</sup>

在二值图像数据预处理过程中，膨胀过程采用不同形状的结构元素对噪声的敏感度不同，去除的效果也不同，有时候采用一种结构元素不能达到满意效果，可以采用多种形状的结构元素同时进行运算，然后将运算后的图像合并起来；针对一般轮廓结构器件，找到两个特征点，且将它们图形数据与特征点对应起来，确定起点和终点的向量，由特征向量唯一确定器件位置坐标。

可以采用一种用闭合曲线去除二值图像噪声的算法，该算法通过移动一组闭合曲线，根据每个闭合曲线与检测目标轮廓边缘的交点数目，判断该组闭合曲线所包含的各个像素点是否为噪声，将被判为噪声的像素点置零，从而提取出精确的工件边缘信息。该方法采用一组闭合曲线扫描整个二值图像的各像素，根据检测工件轮廓与闭合曲线的交点数目，判定该闭合曲线包围的像素是否为噪声，若是，则置零消除，从而获得更加精确的零件轮廓，便于工件检测和图像识别。该算法只需要对二值图像扫描一次就可以有效去除噪声，克服了腐蚀法的缺点，而且简单容易、速度快。

## 七、参考文献

- [1]林薪雨. 图像特征点提取算法研究[D].电子科技大学,2017.
- [2]杨益. 基于图像处理的机械零件几何尺寸检测方法研究[D].西华大学,2011.
- [3]王中王,薛建彬,张学友.一种闭合曲线去除平面工件二值图像噪声算法[J].工业控制计算机,2010,23(11):55-56.
- [4]张晖. 基于图像的零件几何量测量系统关键技术研究[D].东华大学,2008.
- [5]孙建成,曾培峰,禹素萍,吴雄英.二值图像的区域标识与噪声去除[J].天津工业大学学报,2006(01):45-47.
- [6]csdn 博客: bwlablel 函数和 regionprops 函数用法详解

[https://blog.csdn.net/qq\\_18343569/article/details/48214163](https://blog.csdn.net/qq_18343569/article/details/48214163)

[7] csdn 博客: Matlab 中的 bwmorph 函数解释

<https://blog.csdn.net/a1075863454/article/details/45646187>

## 八、附录

1.使用软件说明: Excel、Matlab、SPSS

2.问题一单个零件位置识别程序

```
[x,y]=find(D1==1);           %%提取二值图像坐标
%%=====绘制原始数据图像=====
plot(y,x);
set(gca, 'ydir', 'reverse');
axis('equal');
axis([0,560,0,420]);
xlabel('x');
ylabel('y');
title('DATA1 原始数据图像');
```

图像降噪处理

```
se = ones(3);
modiDim = imdilate(D1,se,1);   %%膨胀将圆连接起来
[x,y]=find(modiDim==1);       %%绘制膨胀后的图形
figure(1);
subplot(2,2,1);
plot(y,x);
set(gca, 'ydir', 'reverse');
axis('equal');
axis([0,560,0,420]);
xlabel('x');
ylabel('y');
title('DATA1 膨胀图像');
BW=bwareaopen(modiDim,50);     %%去掉面积较小的连通域
[x,y]=find(BW==1);
```

图像绘制

```
%%=====绘制去连通域后的图形=====
subplot(2,2,2);
plot(y,x);
set(gca, 'ydir', 'reverse');
axis('equal');
axis([0,560,0,420]);
xlabel('x');
ylabel('y');
title('DATA1 连通噪声处理图像');
```

```

modiDim3=bwmorph(BW,'thin',Inf);    %%细化
[x,y]=find(modiDim3==1);
%%绘制细化后的图形
subplot(2,2,3);
plot(y,x);
set(gca, 'ydir', 'reverse');
axis('equal');
axis([0,560,0,420]);
xlabel('x');
ylabel('y');
title('DATA1 细化图像');
E=bwmorph(modiDim3,'spur',20);      %%去毛刺
[x,y]=find(E==1);
%%=====绘制去掉毛刺的图形=====
subplot(2,2,4);
plot(y,x);
set(gca, 'ydir', 'reverse');
axis('equal');
axis([0,560,0,420]);
xlabel('x');
ylabel('y');
title('DATA1 边缘去噪图像')

```

### 图像定位

```

[L,num] = bwlabel(E,8);                %%将图像中的连通区域分开，
                                         %%分别对每个连通区域用不同的数值进行标记
stats1 = regionprops(L,'Centroid');    %%取重心的位置

```

### 2.问题二多个零件位置识别程序

#### 数据预处理

```

se = ones(3);
modiDim1 = imdilate(D2,se,1);          %%膨胀将圆连接起来。
BW1=bwareaopen(modiDim1,50);           %%去掉面积较小的连通域
modiDim2=bwmorph(BW1,'thin',Inf);      %%细化
E1=bwmorph(modiDim2,'spur',20);        %%去毛刺

```

#### 求解位置坐标 分类圆所属零件

```

L2,num] = bwlabel(E1,8);                %%分割连通域
stats2 = regionprops(L2,'Area');        %%取面积
area = cat(1,stats2.Area);
index = find(area == max(area));        %%求最大连通域的索引
L5 = ismember(L2,index);               %%获取最大连通域图像
L3= im2bw(L5,0.5);                     %%标记之后转回二值继续处理
L6= im2bw(L2,0.5);                     %%标记之后转回二值继续处理
L4=L6-L3;
[L31,num1] = bwlabel(L3,8);

```

```
[L41,num2] = bwlabel(L4,8);
stats3 = regionprops(L31,'Centroid');    %%求正方形的中心点
stats4 = regionprops(L41,'Centroid');    %%求 6 个圆的圆心
centroidsZ = cat(1, stats3.Centroid);    %%求正方形的中心点坐标
centroidsY = cat(1, stats4.Centroid);    %%求 6 个圆的圆心坐标
for m=1:num1
j=1
for n=1:num2
b=(centroidsZ(m,1)-centroidsY(n,1))^2+(centroidsZ(m,2)-centroidsY(n,2))^2
if b<3000
o(j,2*m-1)=centroidsY(n,1);
o(j,2*m)=centroidsY(n,2);
j=j+1;
end
end
end
```