



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111353371 A

(43)申请公布日 2020.06.30

(21)申请号 201911153838.3

(22)申请日 2019.11.22

(71)申请人 中国电子科技集团公司电子科学研
究院

地址 100041 北京市石景山区八大处高科
技园区双园路11号

申请人 中国测绘科学研究院

(72)发明人 刘晓霞 魏曦 李静 刘坡

(74)专利代理机构 北京高文律师事务所 11359
代理人 徐江华 李宝玉

(51)Int.Cl.

G06K 9/00(2006.01)

G06K 9/34(2006.01)

G06K 9/62(2006.01)

权利要求书1页 说明书7页 附图10页

(54)发明名称

基于星载SAR影像的海岸线提取方法

(57)摘要

一种基于星载SAR影像的海岸线提取方法，包括以下步骤：S1：首先选取一幅SAR影像图，进行SAR图像读取；S2：对于图像进行预处理，将原始SAR图像放大，截取带有海岸线的一部分图像；S3：使用Kmeans聚类分割方法，对所截取的图像进行Kmeans算法处理；S4：结合形态学处理，进行形态学闭运算，选取结构元素，先膨胀再腐蚀；S5：使用Canny边界提取算子进行海岸线提取；S6：对提取的结果进行分析，将提取的海岸线与原始地图叠加，验证海岸线提取结果的正确性。与其他同类型边缘提取算法相比，本方法提取出的海岸线连续性较好，平滑度也十分优秀，与真实的海岸线吻合度较高。



1. 一种基于星载SAR影像的海岸线提取方法,包括以下步骤:

S1:首先选取一幅SAR影像图,进行SAR图像读取;

S2:对于图像进行预处理,将原始SAR图像放大,截取带有海岸线的一部分图像;

S3:使用Kmeans聚类分割方法,对所截取的图像进行Kmeans算法处理;

S4:结合形态学处理,进行形态学闭运算,选取结构元素,先膨胀再腐蚀;

S5:使用Canny边界提取算子进行海岸线提取;

S6:对提取的结果进行分析,将提取的海岸线与原始地图叠加,验证海岸线提取结果的正确性。

2. 根据权利要求1所述的基于星载SAR影像的海岸线提取方法,其特征在于:步骤S3中,Kmeans聚类算法中,选定的K值为10。

3. 根据权利要求2所述的基于星载SAR影像的海岸线提取方法,其特征在于:步骤S3中,算法处理还包括根据K均值聚类图的第10个聚类的聚类模式进行分割二值化,以及对经过二值化的图像进行填充和去噪处理。

4. 根据权利要求1所述的基于星载SAR影像的海岸线提取方法,其特征在于:步骤S4中,选取结构元素为4。

5. 根据权利要求1所述的基于星载SAR影像的海岸线提取方法,其特征在于:步骤S4中,膨胀和腐蚀是计算图像中的一个区域,涉及线条和点的特征,在图像中,膨胀是向四周扩展的区域,而腐蚀是从同一时间减少周围的区域。

6. 根据权利要求1所述的基于星载SAR影像的海岸线提取方法,其特征在于:步骤S5中,Canny边界提取算子进行海岸线提取,包括以下步骤:

①去噪声:原始图像数据必须先用二维高斯滤波模板进行卷积;

②梯度计算:导数算子的使用得出灰度图像在两个方向上各自的导数 G_x 和 G_y ,通过得到的导数可以计算出梯度的幅值 $|G|$ 和方向 θ :

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right)$$

③梯度方向确定:计算边缘的方向,并以多个角度划分边缘的渐变方向,以找出像素方向上的相邻像素;

④遍历整个图像:当两个像素的灰度值不是梯度方向前后像素的灰度值的最大值时,像素的灰度值为0,即不是边缘;

⑤通过累积直方图的方式来得出两个阈值,高于阈值必须是边缘,低于阈值不应该是边缘;如果检测在两个阈值的中间,那么像素的相邻像素中的边缘像素是否由边缘像素没有更高的阈值来判断,如果是,则是边缘;否则就不是边缘。

基于星载SAR影像的海岸线提取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种遥感图像处理方法,尤其是指涉及一种基于星载SAR 影像的海岸线提取方法。

背景技术

[0002] 卫星机载合成孔径雷达现在是卫星遥感的基本地球观测工具,与传统的光学遥感和高光谱遥感相比,卫星机载合成孔径雷达具有全天候和高分辨率的成像能力,特别是在云层多的时候拍摄图像。

[0003] 随着技术的进步,未来的星载合成孔径雷达肯定会实现更多的功能,实现所有高分辨率宽带多模微波成像,实现人造合成孔径雷达的小型化以及成本的降低。

[0004] 为了能够以最小的成本获得尽可能多的信息,尽管卫星机载合成孔径雷达突破的技术难题依然存在,但随着技术的不断发展,卫星机载合成孔径雷达不可避免地进入了一个新的发展时期。

[0005] 合成孔径雷达具有的穿透性使得它能获得能够反映目标微波散射特性的图像,这种特性的优势使得合成孔径雷达成为了获取地物信息的重要方法。另外由于SAR是相干成像,相干成像的特点使得SAR影像能孔径合成,该方法获得的SAR图像具有较高的分辨率,可以提供详细的地图信息。

[0006] 海岸线的检测在沿海地带非常重要,可用于地理地图、自动导航、海岸侵蚀和监测等多种活动。合成孔径雷达(SAR)图像的海岸线提取由于具有广泛的覆盖范围和全天候的能力而变得越来越受欢迎。然而,由于斑点和对比度不足造成的强大的洋流,阴影或特定的海岸类型,即沙质海岸等,高精度的海岸线提取仍然是一个具有挑战性的问题。最近几十年来,对于SAR 图像的海岸线检测,国内外很多人已经提出了许多方法。大致分为下面几种:边界跟踪法、活动轮廓法、水平截集(Level Set)算法、Markovian分割法、小波变换法等。在这些算法中,水平截集算法在检测速度和检测效果的综合评价上高于其他算法,虽然有人对其进行了改进,使得检测速度有所提高,但是其实现原理相当复杂,检测速度还是相对较慢,无法满足实际工程的需要。也有专门针对SAR影像提取海岸线的方法,例如申请号为CN201610621676.1的国内专利《一种SAR海岸图像中海岸线提取方法》,通过确认海洋区域的几何中心,以该点为起点做射线,确定射线上的海岸边界点,将这些点依次连接从而得到海岸线。该方法适应于大尺度的图像,对于图像被分割的情况不适用,需要得到进一步的研究。

发明内容

[0007] 有鉴于此,本发明提供了一种基于星载SAR影像的海岸线提取方法,用以解决海岸线提取的问题,其技术方案如下所述:

[0008] 一种基于星载SAR影像的海岸线提取方法,包括以下步骤:

[0009] S1:首先选取一幅SAR影像图,进行SAR图像读取;

[0010] S2:对于图像进行预处理,将原始SAR图像放大,截取带有海岸线的一部分图像;
 [0011] S3:使用Kmeans聚类分割方法,对所截取的图像进行Kmeans算法处理;
 [0012] S4:结合形态学处理,进行形态学闭运算,选取结构元素,先膨胀再腐蚀;
 [0013] S5:使用Canny边界提取算子进行海岸线提取;
 [0014] S6:对提取的结果进行分析,将提取的海岸线与原始地图叠加,验证海岸线提取结果的正确性。

[0015] 进一步的,步骤S3中,Kmeans聚类算法中,选定的K值为10。

[0016] 进一步的,步骤S3中,算法处理还包括根据K均值聚类图的第10个聚类的聚类模式进行分割二值化,以及对经过二值化的图像进行填充和去噪处理。

[0017] 步骤S4中,选取结构元素为4。

[0018] 步骤S4中,膨胀和腐蚀是计算图像中的一个区域,涉及线条和点的特征,在图像中,膨胀是向四周扩展的区域,而腐蚀是从同一时间减少周围的区域。

[0019] 步骤S5中,Canny边界提取算子进行海岸线提取,包括以下步骤:

[0020] ①去噪声:原始图像数据必须先用二维高斯滤波模板进行卷积;

[0021] ②梯度计算:导数算子的使用得出灰度图像在两个方向上各自的导数 G_x 和 G_y ,通过得到的导数可以计算出梯度的幅值 $|G|$ 和方向 θ :

$$[0022] \quad |G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$[0023] \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right)$$

[0024] ③梯度方向确定:计算边缘的方向,并以多个角度划分边缘的渐变方向,以找出像素方向上的相邻像素;

[0025] ④遍历整个图像:当两个像素的灰度值不是梯度方向前后像素的灰度值的最大值时,像素的灰度值为0,即不是边缘;

[0026] ⑤通过累积直方图的方式来得出两个阈值,高于阈值必须是边缘,低于阈值不应该是边缘;如果检测在两个阈值的中间,那么像素的相邻像素中的边缘像素是否由边缘像素没有更高的阈值来判断,如果是,则是边缘;否则就不是边缘。

[0027] 本发明可以便于从具有复杂场景和大地理覆盖的SAR图像提取海岸线,且自动性和适应性较强。

附图说明

[0028] 图1是本方法的技术路线图;

[0029] 图2是Sentinel-1A的原始图像;

[0030] 图3是裁剪出的部分海岸线;

[0031] 图4是kmeans算法处理结果;

[0032] 图5是分割出的二值图;

[0033] 图6是随机矩阵;

[0034] 图7是聚类第一步;

[0035] 图8是聚类迭代步骤;

- [0036] 图9是聚类演示结果；
[0037] 图10是去噪结果；
[0038] 图11是形态学处理结果；
[0039] 图12是降噪前图像；
[0040] 图13是降噪前图像局部放大；
[0041] 图14是canny算子提取结果；
[0042] 图15是海岸线提取最终结果。

具体实施方式

[0043] 本发明提供的基于星载SAR影像的海岸线提取方法,如图1所示,包括以下步骤:1)首先选取一幅SAR影像图,进行SAR图像读取;2)对于图像进行预处理,将原始SAR图像放大,截取带有海岸线的一部分图像;3)使用Kmeans聚类分割方法,对所截取的图像进行Kmeans算法处理;处理还包括根据K均值聚类图的第10个聚类的聚类模式进行分割二值化,以及对经过二值化的图像进行填充和去噪处理;4)结合形态学处理,进行形态学闭运算,选取结构元素为四,先膨胀再腐蚀;5)使用Canny边界提取算子进行海岸线提取;6)对提取的结果进行分析,即将提取的海岸线与原始地图叠加,验证海岸线提取结果的正确性。以下是对各步骤进行详细的描述:

[0044] 一

[0045] 如图2所示,为一待处理的原始SAR图像,这景实验数据是黄海海区 Sentinel-1A的图像,成像时间是2017.12.05,极化方式为VV,像元大小为 15×15 。SAR图像的信息主要受后向散射影响,影像的亮度代表后向散射强度,像元内表面越粗糙后向散射越强,光滑表面产生镜面反射,后向散射很弱,导致亮度低。

[0046] 二

[0047] 在图2的基础上截取一部分海岸线,即图3。作为数字图像处理的关键技术之一,图像分割无疑起着重要的作用。图像分割通过提取图像中有意义的特征位置(例如图像边缘和图像区域)为后续图像处理、识别、分析和理解提供了坚实的基础。目前,已经针对各种图像开发了许多用于提取边缘或图像分割的不同方法。然而这些方法中并没有能适用于所有情况的方法,这也正是图像分割的研究仍然是图像处理的热点之一的主要原因。

[0048] 三

[0049] 如图4所示,将图3中的截取的影像通过Kmeans算法处理,Kmeans 算法处理后,海洋和陆地强度的区分性增加,然后根据K均值聚类图的第 10个聚类的聚类模式进行分割二值化得到图5。

[0050] 在最简单的聚类算法中,毫无疑问,Kmeans聚类分割是有一席之地的。这是一种非常典型的无监督的学习算法。它主要用于将相似样本自动分组到一个类别中。聚类算法与分类算法最大的区别在于聚类算法是一种可以自动处理的无监督学习算法。分类算法属于监督学习算法,需要人为干预。

[0051] Kmeans算法的难点在于需要设置不同的k值来获得不同的聚类结果。然而k值的不确定正是该算法的一个缺点。往往为了达到好的实验结果,需要进行多次尝试才能够选取最优的k值。在本次实验中,选定的K值为10。当K或大或小时,聚类的效果没有取10时这么

好,比较分散。

[0052] 其Kmeans基本思想是将k个点集中到空间中,并对与其最接近的物体进行分类。通过迭代方法,每个聚类中心的值不断更新,直到最佳聚类结果出现,整个更新迭代的过程才会停止。如果用公式可以表示,假设簇划分为 (C_1, C_2, \dots, C_i) ,则表示为:

$$[0053] \quad SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} |x - u_i|^2 \quad (1)$$

[0054] 其中 C_i 是第几个簇, x 是 C_i 中的样本点, u_i 是 C_i 的质心(C_i 中所有样本的均值),SSE是所有样本样本的聚类误差,代表了聚类效果的好坏。为了简单的理解这个过程,本文将进行一个小实验来演示运算过程。

[0055] 首先,使用randn函数生成三个正态分布的随机矩阵,如图6所示,并将它们称为原始图像。

[0056] 接着生成k个随机的聚类中心点,为了简单起见,设置k和矩阵数相同,即 $k=3$ 。下一步是分别计算每个数据点到这些中心的距离。各个数据点分别把距离最短的那个中心点当成自己的类别。此时,每个数据点都有自己对应的中心点了,然而由图7可以看出,这时候的聚类并不准确。

[0057] 这时,重新计算中心点的位置。计算所有蓝色点的中心,并将蓝色中心点移动到计算出来的位置。这时图8中的绿色点就会被归类到新的蓝色中心点,从而被染上蓝色。绿色和红色的中心点也同理移动到新的位置。

[0058] 上面的步骤不停地重复之后,一直到中心点迭代趋于稳定之后,停止迭代,算法结束。得到聚类结果,如图9所示。

[0059] 将同一颜色的样本聚成一簇,最后形成三个簇,使同一簇内部的样本相似度高,不同簇之间的差异性高。

[0060] 在对图像进行聚类后,立即对处理后的图像进行二值化处理。图像的二值化说的简单点,就是把整个图像的所有点表示成0或255,也就是非黑即白的效果,将整个图像变成泾渭分明的黑白效果。换句话说,原始灰度值图像被转换成黑白二值图像,通过选择合适的阈值可以看到整体和局部特征。灰度大于等于阈值的点被判定成一类,灰度表示为255,和它恰恰相反的是灰度低于那个阈值的点会被判定成另一类,灰度则表示成0(也就是背景或者一些无关紧要的东西)。

[0061] 通过动态的对阈值进行调节可以使图像的二值化也动态化,从而可以观察对分割图像产生的效果,实现动态分析。通过采用一些封闭或者连通的边界来定义不重叠的部分,可以得到较为理想的二值图。对于数字图像处理来说这是很关键的一步,二值图像在数字图像处理中有举足轻重的地位,特别是在图像处理的某些方面,许多系统需要通过二值图进行处理。

[0062] 为了处理和分析二进制图像,二值化灰度图像显然是第一步。通过转换得到二值图使得在进行下一步图像处理时图像性质只与黑色或者白色的点有关,不需要再考虑像素的多级性,能够简化处理过程。

[0063] 可以看到经过二值化的图像上有很多明显的噪声,点状图和小孔遍布了整张图像,为了进行接下去的步骤首先要将其进行填充和去噪处理。去噪处理结束后,得到图10。

[0064] 四

[0065] 显然海岸线部分看上去仍然有问题,接下去运用形态学闭运算,为了试验效果反复尝试结构元素的选取,最终发现当取结构元素为4时去噪有较好的结果,其余结构元素的去噪效果不明显。先膨胀再腐蚀,得到图11。

[0066] 众所周知,在一般情况下要想将噪声全部去除是不可能的。而为了将图像从灰度图像转换为二值图像,一些噪声的出现也是不可避免的。这种情况会对图像提取造成困难。

[0067] 二值图像中的噪声有着十分多种类的表现形式。最具代表性的是点和小孔,如图12所示。图13是为本次实验降噪前图像(即图12)中截取部分。点图和针孔是指像素连接部件和相对较小面积的零像素连接部件。一般来说,腐蚀处理和膨胀处理可以有效地去除这些连接。

[0068] 集合论是数学形态学中使用的数学基础和语言。图像形态处理学中有几个最基本的操作称为膨胀、腐蚀、开闭,它们在二值图像和灰度图像中都有各自的特点。这些基本操作也可以导出并纳入数学形态学的各种算法中。

[0069] 设 $f(x, y)$ 为输入图像, $g(i, j)$ 表示结构元素, \ominus 为腐蚀运算符号, \oplus 为膨胀运算符号, D_f 和 D_g 分别为 f 和 g 的定义域,则 f 被 g 腐蚀和膨胀可表示为:

$$[0070] \quad f(x, y) \ominus g(i, j) = \min \{ f(x+i, y+j) - g(i, j) \mid (x+i, y+j) \in D_f, (i, j) \in D_g \} \quad (2)$$

$$[0071] \quad f(x, y) \oplus g(i, j) = \max \{ f(x-i, y-j) + g(i, j) \mid (x-i, y-j) \in D_f, (i, j) \in D_g \} \quad (3)$$

[0072] 设 \circ 表示开运算, \bullet 表示闭运算,其定义分别为:

$$[0073] \quad f \circ g = (f \ominus g) \oplus g \quad (4)$$

$$[0074] \quad f \bullet g = (f \oplus g) \ominus g \quad (5)$$

[0075] 其中开运算通常用于去除比结构元素小的亮细节,而保留大的总体亮特征不变;闭运算通常用于去除比结构元素小的暗细节,同时也保持高亮特征元素不变。

[0076] 膨胀和腐蚀是计算图像中的一个区域(线条和点的特征)。在图像中,膨胀是向四周扩展的区域,而腐蚀是从同一时间减少周围的区域。值得注意的是,一般来说,膨胀和腐蚀不是相互的,即它们可以级联使用。在膨胀和腐蚀之后,或在腐蚀扩大之后,通常不可能恢复原始图像,但它会产生新的转化形式。这也被称为形态开闭操作。

[0077] 显然,图像噪声过滤是图像预处理中不可或缺的一部分。形态噪声滤波器通过组合开放和封闭操作来构建。通过使用结构元素对集合进行开运算可以将上文提到的二值图像中目标周围的噪声块消除;与之相对的,使用闭运算可以将目标里面的噪声小孔去除掉。

[0078] 在上面的方法中,结构元素的选取是重中之重,它必须比二值图像内所有的噪声(包括噪声块和噪声小孔)都要来得大。在进行本次研究时,反复尝试了多个结构元素,最终确定了选定的参数大小为4。且在结构元素取该数值时,实验有较好效果。

[0079] 在实际执行图像处理时,通常使用开操作来消除比结构元素更小的尺寸。在保持细节的同时,尽量保持图像的整体灰度值和明亮区域大于结构元素。相反,封闭操作用于消除比结构元素小的黑色细节。当然,还需要保持图像和黑暗区域的灰度值大于结构元素。

[0080] 通过上边的描述,可以简单的得到一个结论,同时结合开运算和闭运算两种运算就可以达到滤除各种噪声的操作,并且,若能将多结构元素与开闭运算相结合,就能够在保护图像细节方面获得极大的成果。

[0081] 五

[0082] 使用Canny算子提取图11中的海岸线,如图14所示。最后,为了验证海岸线提取结果的正确性,将提取的海岸线与原始地图叠加在一起,如图 15所示。

[0083] 边缘检测技术对于处理数字图像非常重要,因为边缘是目标和要提取的背景之间的边界线,并且可以提取边缘以区分目标和背景。在图像中,边界代表特征区域的结束和另一特征区域的开始。有界边界的内部特征或属性是相同的,但不同区域的内部特征或属性是不同的。特定的图像特征(包括灰度,颜色或纹理特征)有助于边缘检测。边缘检测实际上是对图像特征变化进行的一种检测。

[0084] 边缘提取的经典方法是检查特定区域中图像的每个像素的灰度变化。使用靠近边缘的一阶或二阶方向导数,使用简单的方法检测边缘。这种方法被称为边缘检测。

[0085] 边缘检测的基本思想是通过检测每个像素及其相邻像素的状态来确定像素是否位于对象的边沿位置。如果每个像素位于对象的边界上,相邻单元的灰度值将变化更多。

[0086] Canny算子提取的边界比较连续和平滑。因此,本文选择Canny算子作为海岸线提取的边缘算子。

[0087] Canny边缘算子作为边缘检测算子是最优的。这在很多图像处理领域被广泛使用。Canny检查边缘对检测算子有着下面几个要求:错误率低:尽可能不丢失真实的边缘点,从而避免边缘判断为非边缘点;高位置精度:检测到的边缘应尽可能接近真实的边缘;每个边缘点具有唯一的响应,从而形成单个像素宽度的边缘。Canny边缘算子的具体实现步骤如下:

[0088] ①去噪声:边缘检测算法无法处理未处理的原始图像,因此必须先对原始数据与高斯平滑模板进行卷积。由此产生的图像与原始图像相比有点模糊,这是消除噪声的必要成本。

[0089] ②梯度计算:导数算子的使用可以轻易得出灰度图像在两个方向上各自的导数 G_x 和 G_y ,通过得到的导数可以计算出梯度的幅值和方向:

$$[0090] \quad |G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (6)$$

$$[0091] \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right)$$

[0092] G_x 和 G_y 表示灰度图像在x和y两个方向各自的导数。

[0093] ③梯度方向确定:计算边缘的方向并以多个角度(例如 0° 、 45° 、 90° 和 135°)划分边缘的渐变方向,以找出像素方向上的相邻像素。

[0094] ④遍历整个图像:当两个像素的灰度值不是梯度方向前后像素的灰度值的最大值时,像素的灰度值为0,即不是边缘。

[0095] ⑤通过累积直方图的方式来得出两个阈值。显然,高于阈值必须是边缘,低于阈值不应该是边缘。如果检测在两个阈值的中间,那么像素的相邻像素中的边缘像素是否由边缘像素没有更高的阈值来判断,如果是,则是边缘;否则就不是边缘。

[0096] 六、

[0097] 观察图15,可以看出提取出的海岸线连续性较好,平滑度也十分优秀,虽然在一些地方的精度不够高,但可以看出与海岸线基本重合。

[0098] 与常用的边界跟踪方法相比,Kmeans聚类分割方法在精度上略差于边界跟踪方法,但在应用性方面来说,它要比前者强上许多。由于边界跟踪法只能在给定SAR图像的情况下检测海岸线,假设完整的海岸线被图像所分割,使用边界跟踪方法就会造成只能追溯到一半海岸线而另一半海岸线无法显示的尴尬局面。Kmeans方法无此限制,对海岸线被图像分割的适应性更强,比边界追踪方法更简单,更方便。

[0099] 本文提出的Kmeans聚类分割结合形态学来提取海岸线的方法适用自动提取SAR影像中的海岸线。实验结果表明,结合Kmeans和形态学处理方法,可有效缓解斑点噪声的影响。此外,本文提出的方法在保持复杂场景中海岸线的连续性方面具有优势。

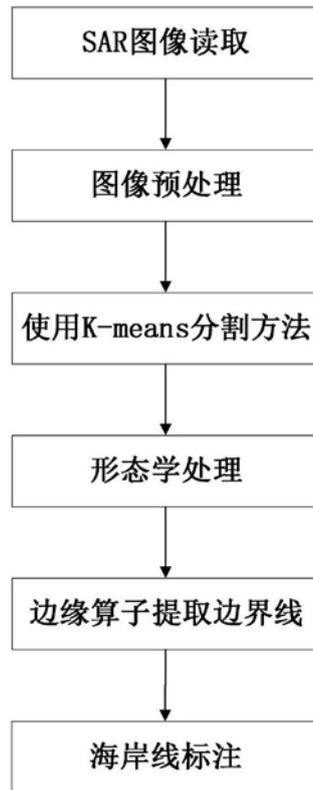


图1

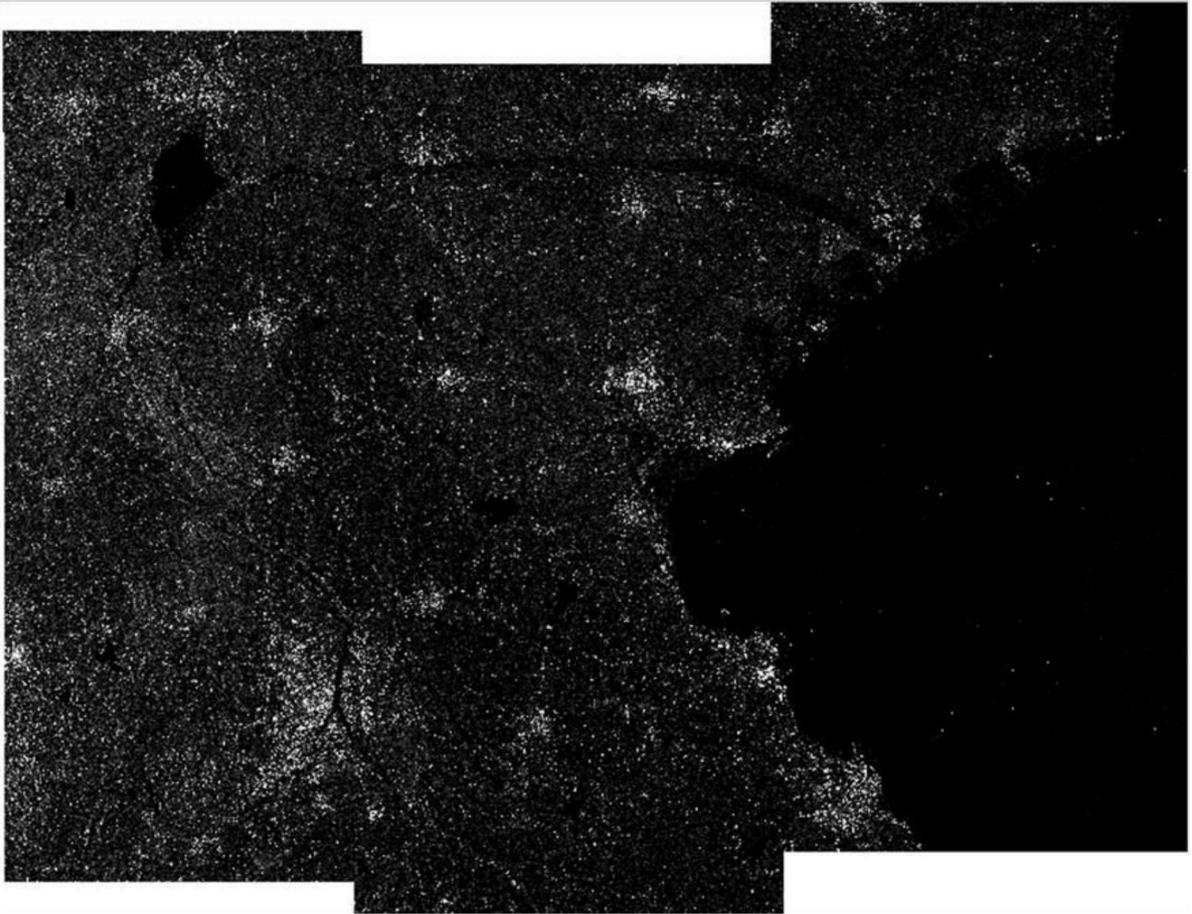


图2

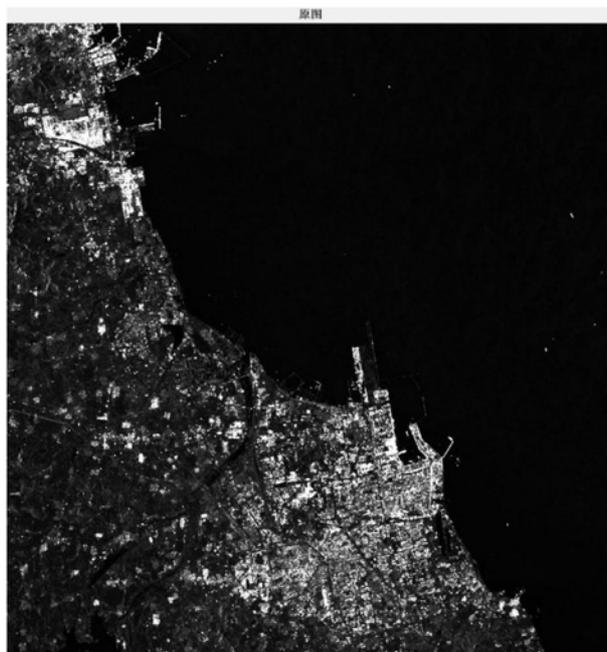


图3



图4



图5

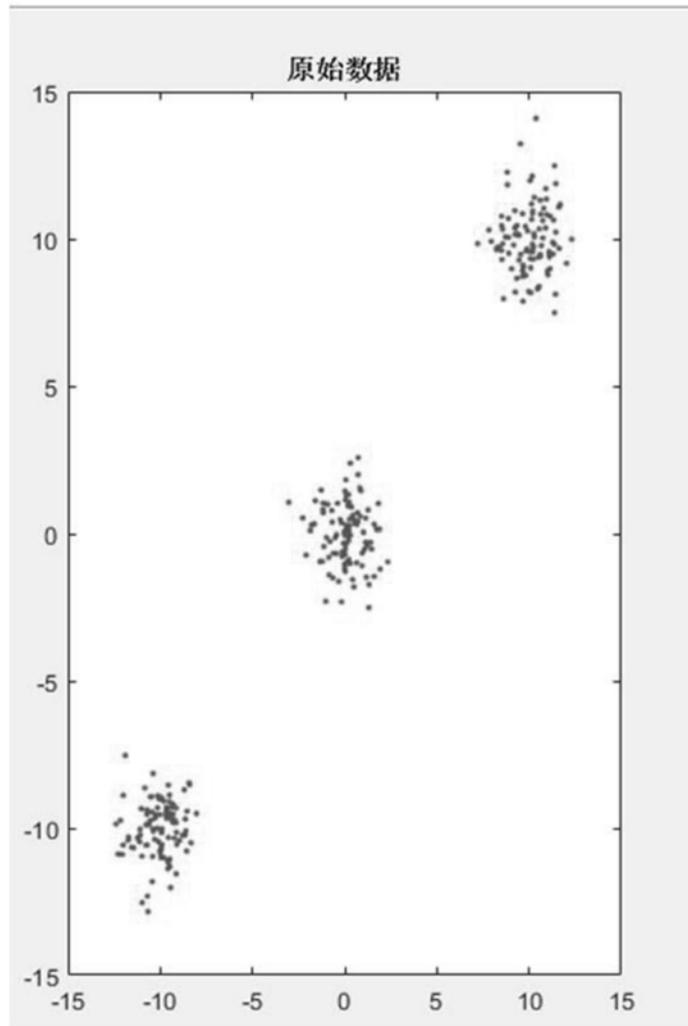


图6

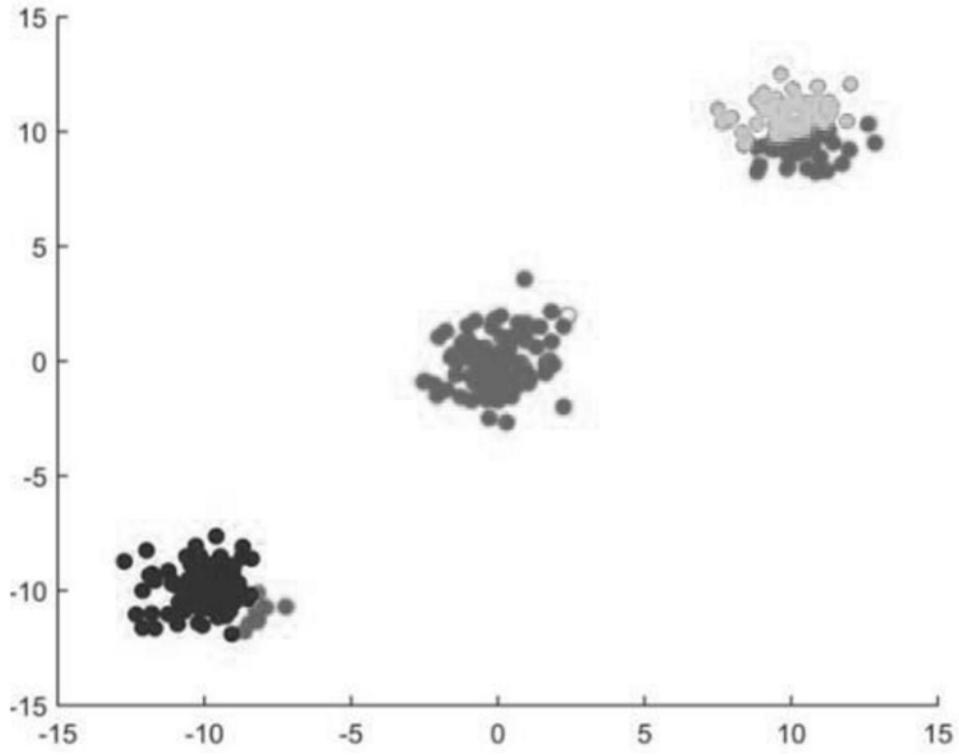


图7

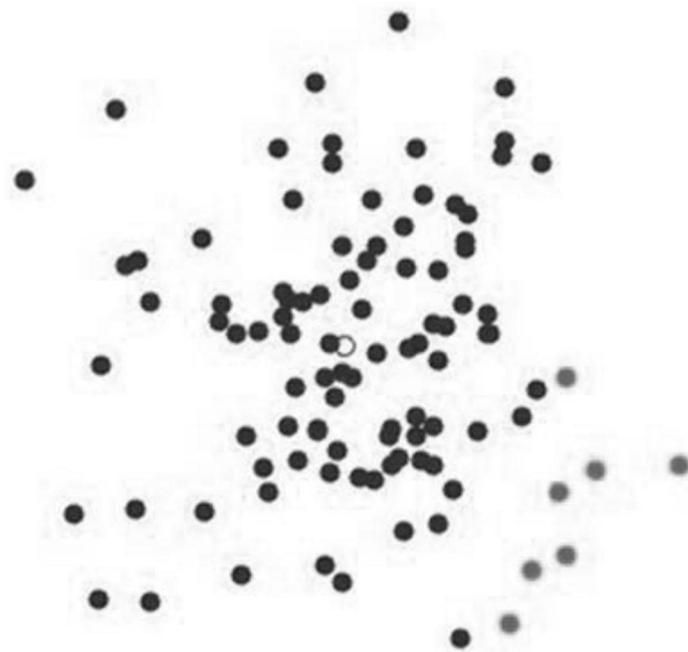


图8

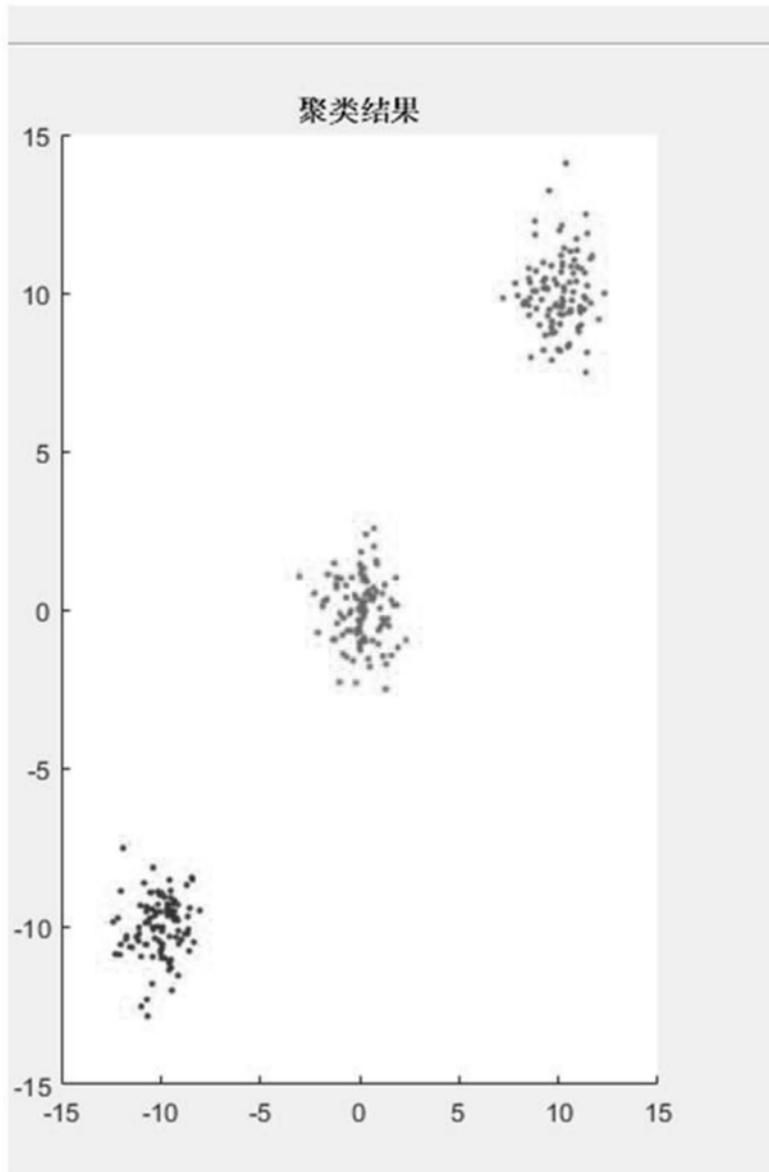


图9



图10



图11



图12



图13

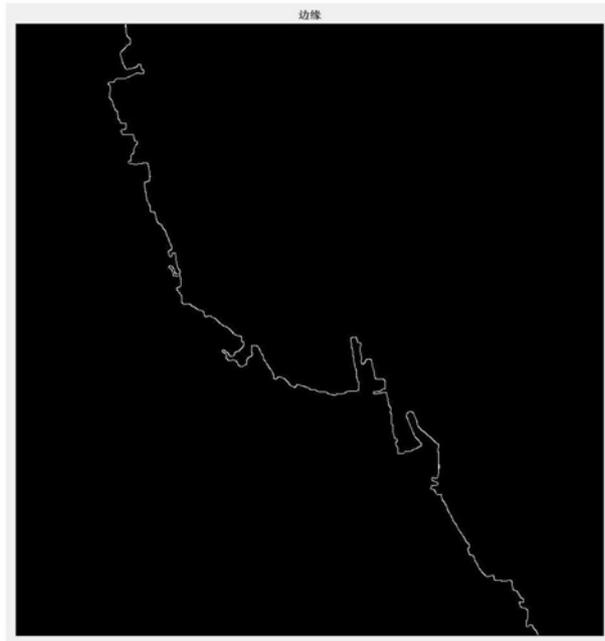


图14



图15