



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108573280 B

(45) 授权公告日 2021.12.07

(21) 申请号 201810306320.8

(22) 申请日 2018.04.08

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108573280 A

(43) 申请公布日 2018.09.25

(73) 专利权人 四方继保(武汉)软件有限公司
地址 430223 湖北省武汉市东湖新技术开发区汤逊湖北路33号华工科技园创新基地18栋7层08室
专利权人 北京四方继保自动化股份有限公司

(72) 发明人 龚涛 邵宇平 杨咏林 付帅
张呈 叶艳军

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限公司 42102

代理人 张惠玲

(51) Int.Cl.

G06K 9/62 (2006.01)

G06K 9/46 (2006.01)

G06T 7/13 (2017.01)

(56) 对比文件

CN 106934401 A, 2017.07.07

CN 106909145 A, 2017.06.30

KR 20170088123 A, 2017.08.01

李小毛 等. 基于3D 激光雷达的无人水面艇海上目标检测.《上海大学学报》.2017, 第27-36页.

张俊杰 等. 基于视觉显著性的无人车图像检测及分割方法.《计算机工程与应用》.2017, 第176-242页.

审查员 张婷

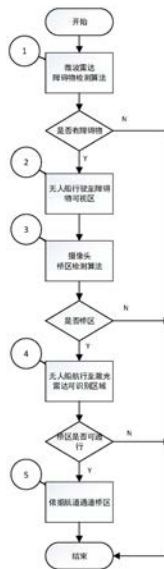
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种无人船自主通过桥梁的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种无人船自主通过桥梁的方法,该方法包括以下步骤:微波雷达检测无人船前方是否有障碍物;然后利用无人船前端主摄像头采集图像数据,并将采集的图像经过显著性检验算法得到水平面显著性目标图;经过SIFT算子提取显著性区域的特性向量;对特征向量进行聚类运算,利用词袋法建立桥区直方图;利用直方图采用SVM模型判断障碍物是否为桥区;接着利用三维激光雷达建立点云模型,生成通过路径;最后无人船利用组合惯导及船载动力系统按照预设路径通过桥梁。本发明解决了微波雷达不能判断无人船前方是否为桥区、单目摄像头无法获取桥区的距离信息等问题。



1. 一种无人船自主通过桥梁的方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1),微波雷达检测无人船前方是否有障碍物;

步骤2),摄像头采集无人船前方图像,将采集的图像经过显著性检验算法得到水平面显著性目标图,通过SIFT算子提取显著性区域的特性向量,对特征向量进行聚类运算,建立桥区直方图,再利用直方图采用SVM模型判断该图像是否为桥区;

步骤3),无人船行驶至桥洞区域,三维激光雷达获取无人船周围100米范围的三维点云数据,建立障碍物栅格图,获得桥洞的位置和距离信息,计算桥区无人船可行路径;

步骤4),无人船全过程利用组合惯导及船载动力装置准确按照规划路径及设计航速航行;

其中,在所述步骤1)中,微波雷达在无人船周围5km区域内通过天线发送电磁波,微波雷达的接收机接收到电磁波信号后,通过信号处理算法,获取无人船前方目标的雷达图;对雷达图进行8连通域的点迹凝聚算法,得到目标的距离、方位和特征信息,其中,特征信息包括目标的面积大小、长度和宽度;

所述步骤2)包括以下步骤:

步骤S2-1,将摄像头采集图像提取目标显著性区域;

步骤S2-2,SIFT特征提取;

步骤S2-3,生成视觉单词;

步骤S2-4,生成图像的直方图;

步骤S2-5,所有训练样本图像在K维特征向量送入SVM模型去学习,并使用高斯径向基函数为核函数训练样本;

步骤S2-6,摄像头采集图像数据,并用步骤S2-5得到K维向量来表征该图像,然后利用训练好的SVM模型判决该图像是否为桥区。

2. 根据权利要求1所述的一种无人船自主通过桥梁的方法,其特征在于,所述步骤S2-1采用显著性检验算法,其包括以下步骤:

步骤S2-1-1,对采集的图像进行小波DB5/3小波变换;

步骤S2-1-2,相位谱显著图计算;

步骤S2-1-3,Roberts梯度运算;

步骤S2-1-4,合成显著性图;

步骤S2-1-5,小波反变换;

步骤S2-1-6,显著性区域原始图。

一种无人船自主通过桥梁的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无人船艇识别技术领域,更具体地说,涉及一种无人船自主通过桥梁的方法。

背景技术

[0002] 随着无人船在内河河道的应用推广,基于传统的激光雷达和微波导航雷达无法判断内河桥区是否可以通行。车载微波导航雷达不具备识别三维空间,无法区分无人船周围的区域是桥区还是非桥区,激光雷达可以通过三维点云数据判断桥区,但是激光雷达的探测距离有限。本发明提供一种桥区的检测算法,判断河道内的障碍物区域是否为可以通行的区域,在可通行的区域内配合激光雷达,探测无人船周围环境,实现无人船过桥过洞的功能。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种无人船自主通过桥梁的方法。

[0004] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:设计一种无人船自主通过桥梁的方法,包括以下步骤:

[0005] 步骤1),微波雷达检测无人船前方是否有障碍物。微波雷达在无人船周围5km区域内通过天线发送电磁波,微波雷达的接收机接收到电磁波信号后,通过信号处理算法,获取无人船前方目标的雷达图。对雷达图进行8连通域的点迹凝聚算法,得到目标的距离、方位和特征信息,其中,特征信息包括目标的面积大小、长度和宽度。根据公式(1)判断目标是否为潜在桥区,若alpha大于1则为潜在桥区,进入桥区检测算法,否则进入避障算法, T_{len} 、 T_{width} 、 T_{area} 、 T_{dis} 分别为每个目标的长度、宽度、面积、距离。

[0006]
$$\alpha = (0.9 * T_{len} + 0.1 * T_{width} + T_{area}) / T_{dis} \quad (1)$$

[0007] 步骤2),摄像头采集无人船前方图像,将采集的图像经过显著性检验算法得到水平面显著性目标图,通过SIFT(尺度不变特征变换)算子提取显著性区域的特性向量,对特征向量进行聚类运算,利用词袋法建立桥区直方图,再利用直方图采用SVM(支持向量机)模型判断该图像是否为桥区。上述桥区检测算法如图3所示,该算法包括以下步骤:

[0008] 步骤S2-1,摄像头采集无人船前方的图像,将摄像头采集图像提取目标显著性区域。显著性检验算法如图2所示,其包括以下步骤:

[0009] 步骤S2-1-1,对采集的图像进行小波DB5/3小波变换,如公式(2)和公式(3)所示,经过两次小波变换后得到低频子图,低频子带中包含了图像的轮廓信息,通过对大量的海面图片进行小波变换测试,发现2级变换后的子图适合粗分辨率下的显著性图计算。

$$[0010] \quad Y(2n+1) = X(2n+1) - \left[\frac{1}{2}(X(2n) + X(2n+2)) + \frac{1}{2} \right] \quad (2)$$

$$[0011] \quad Y(2n) = X(2n) - \left[\frac{1}{4}(Y(2n-1) + Y(2n+1)) + \frac{1}{2} \right] \quad (3)$$

[0012] 步骤S2-1-2, 相位谱显著图计算。图像经过傅里叶变化后可以得到不同的幅度和相位的正弦波。幅度能够确定正弦波的个数, 包含了图像亮度对比; 相位谱能够确定正弦的具体位置, 包含了图像的结构信息, 图像的结构信息体现的纹理信息, 用于构建显著图。傅里叶变化的计算如公式 (4) 所示, 得到相位图后, 并利用设定幅度谱为0, 进行反傅里叶变化得到显著性区域的相位特性图, 如计算公式 (5) 所示。

$$[0013] \quad F(u) = \sum_{x=0}^{N-1} f(x) e^{-i*2*\pi*i*x/N}, i = 0, 1, \dots, N \quad (4)$$

$$[0014] \quad f(x, y) = \frac{1}{N^2} \sum_0^{n-1} \sum_0^{n-1} F(u, v) e^{-i*2*\pi*i*u*x/N} e^{-i*2*\pi*i*v*y/N}, u, v = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

[0015] 步骤S2-1-3, Roberts梯度运算。梯度运算为灰度变化最大的方向, 如果图像中变化比较平坦, 那么对应的梯度值小, 而边缘区域梯度变化剧烈, 选择Roberts算子作为边缘检测算法, 适合河海平面的特征清晰, 噪声相对较小的环境。Roberts算子如下: X方向Y方向分别为: $[1, 0; 0, -1]$, $[0, 1; -1, 0]$, X和Y方向的算子分别和图像进行卷积运算, 得到X方向和Y方向的梯度图, 利用公式 (6) 计算梯度幅度图。

$$[0016] \quad \nabla f = |G_x| + |G_y| \quad (6)$$

[0017] 步骤S2-1-4, 合成显著性图。合成的比例因子alpha为0.9, 计算采用公式 (7)。

$$[0018] \quad I = \alpha * I_{\text{phase}} + (1 - \alpha) * I_{\text{roberts}} \quad (7)$$

[0019] 步骤S2-1-5, 小波反变换。得到高分辨率的显著图, 设定的子带图对角线方向、垂直方向、水平方向均为0, 计算采用公式 (8) 和公式 (9)。

$$[0020] \quad X(2n) = X(2n) - \left[\frac{1}{4} (Y(2n-1) + Y(2n+1)) + \frac{1}{2} \right] \quad (8)$$

$$[0021] \quad X(2n+1) = Y(2n+1) - \left[\frac{1}{2} (X(2n) + Y(2n+2)) + \frac{1}{2} \right] \quad (9)$$

[0022] 步骤S2-1-6, 显著性区域原始图。得到显著图, 提取显著图的轮廓信息, 并计算矩形框的坐标, 矩形框的坐标图像即为进行桥区识别的显著性区域。

[0023] 步骤S2-2, SIFT特征提取。以显著性检验算法获取的关注区域, 采用SIFT算法, 获取关键特征点, 并以关键特征点的 $16*16$ 的领域窗口, 并分割成16个 $4*4$ 子窗口, 每个子窗口按照公式 (10) 和公式 (11) 计算每个领域点的梯度幅值和方向, 并对梯度做高斯加权, 然后在 $4*4$ 的领域范围内生成具有8个方向的梯度方向直方图。于是, 每个关键点共有 $16*8=128$ 个方向的特性向量, 并做归一化处理, 生成SIFT特征描述子。则所有图像产生N个128维的特征向量, N是所有训练样本图像的特征点总数。

$$[0024] \quad m(x, y) = \sqrt{(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2} \quad (10)$$

$$[0025] \quad \theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)} \quad (11)$$

[0026] 步骤S2-3, 生成视觉单词。采用K-means对N个特征向量进行聚类, 得到K个聚类中心点, 这K个聚类中心即为K个视觉单词, 从而构成了视觉单词表。

[0027] 步骤S2-4, 生成图像的直方图。针对每个训练样本图像的视觉单词表中各个视觉单词出现的频率。将图像的每个特征点映射到其邻近的视觉单词, 设某一特征点的SIFT特

征向量为 X ,到第 i 个视觉单词的距离为公式(12):

$$[0028] \quad d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{128} (X_i - V_{ij})^2}, 1 \leq i \leq K \quad (12)$$

[0029] 其中: X_j 为SIFT特征向量 X 的第 j 维, V_{ij} 是第 i 个视觉单词的第 j 维。然后统计各个视觉单词在一副图像中出现的频率。这样,每幅图像都可以用一个 K 维向量来表征。

[0030] 步骤S2-5,所有训练样本图像在 K 维特征向量送入SVM模型去学习,并使用高斯径向基函数为核函数训练样本。

[0031] 步骤S2-6,摄像头采集图像数据,并用步骤S2-5得到 K 维向量来表征该图像,然后利用训练好的SVM模型判决该图像是否为桥区。

[0032] 步骤3),无人船行驶至桥洞区域,三维激光雷达获取无人船周围100米范围的三维点云数据,建立障碍物栅格图,获得桥洞的位置和距离信息,计算桥区无人船可行路径。本实施例采用最大最小法进行栅格化,将所有的三维点投影到栅格地图上,并记录每个栅格中最大高度和最小高值之差。

[0033] 步骤4),无人船全过程利用组合惯导及船载动力装置准确按照规划路径及设计航速航行,实时纠正航迹偏差。

[0034] 本发明与现有技术相比,具有以下有益效果:

[0035] 本发明采用改进桥区识别方法,解决了微波雷达不能判断无人船前方是否为桥区、单目摄像头无法获取桥区的距离信息等问题,综合各种传感器的优势,为水上无人船过桥洞提供了一个新方法。

附图说明

[0036] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明,附图中:

[0037] 图1为一种无人船自主通过桥梁的方法的流程示意图;

[0038] 图2为显著性检验算法的流程示意图;

[0039] 图3为桥区检测算法的流程示意图。

具体实施方式

[0040] 下面结合附图对本发明作进一步的描述。

[0041] 如图1所示,本发明提供一种无人船自主通过桥梁的方法,该方法采用的设备包括微波雷达、摄像头、计算机、激光雷达、嵌入式控制器、组合惯导、动力装置。

[0042] 一种无人船自主通过桥梁的方法,包括以下步骤:

[0043] 步骤1),微波雷达检测无人船前方是否有障碍物。微波雷达在无人船周围5km区域内通过天线发送电磁波,微波雷达的接收机接收到电磁波信号后,通过信号处理算法,获取无人船前方目标的雷达图。对雷达图进行8连通域的点迹凝聚算法,得到目标的距离、方位和特征信息,其中,特征信息包括目标的面积大小、长度和宽度。根据公式(1)判断目标是否为潜在桥区,若 α 大于1则为潜在桥区,进入桥区检测算法,否则进入避障算法, T_{len} 、 T_{width} 、 T_{area} 、 T_{dis} 分别为每个目标的长度、宽度、面积、距离。

$$[0044] \quad \alpha = (0.9 * T_{len} + 0.1 * T_{width} + T_{area}) / T_{dis} \quad (1)$$

[0045] 步骤2),摄像头采集无人船前方图像,将采集的图像经过显著性检验算法得到水

平面显著性目标图,通过SIFT算子提取显著性区域的特性向量,对特征向量进行聚类运算,利用词袋法建立桥区直方图,再利用直方图采用SVM(支持向量机)模型判断该图像是否为桥区。上述桥区检测算法如图3所示,该算法包括以下步骤:

[0046] 步骤S2-1,摄像头采集无人船前方的图像,将摄像头采集图像提取目标显著性区域。显著性检验算法如图2所示,其包括以下步骤:

[0047] 步骤S2-1-1,对采集的图像进行小波DB5/3小波变换,如公式(2)和公式(3)所示,经过两次小波变换后得到低频子图,低频子带中包含了图像的轮廓信息,通过对大量的海面图片进行小波变换测试,发现2级变换后的子图适合粗分辨率下的显著性图计算。

$$[0048] \quad Y(2n+1) = X(2n+1) - \left[\frac{1}{2}(X(2n) + X(2n+2)) + \frac{1}{2} \right] \quad (2)$$

$$[0049] \quad Y(2n) = X(2n) - \left[\frac{1}{4}(Y(2n-1) + Y(2n+1)) + \frac{1}{2} \right] \quad (3)$$

[0050] 步骤S2-1-2,相位谱显著图计算。图像经过傅里叶变化后可以得到不同的幅度和相位的正弦波。幅度能够确定正弦波的个数,包含了图像亮度对比;相位谱能够确定正弦的具体位置,包含了图像的结构信息,图像的结构信息体现的纹理信息,用于构建显著图。傅里叶变化的计算如公式(4)所示,得到相位图后,并利用设定幅度谱为0,进行反傅里叶变化得到显著性区域的相位特性图,如计算公式(5)所示。

$$[0051] \quad F(u) = \sum_{x=0}^{N-1} f(x) e^{-i*2*\pi*i*x/N}, i=0,1,\dots,N \quad (4)$$

$$[0052] \quad f(x,y) = \frac{1}{N^2} \sum_0^{n-1} \sum_0^{n-1} F(u,v) e^{-i*2*\pi*u*x/N} e^{-i*2*\pi*v*y/N}, u,v=0,1,\dots,N-1 \quad (5)$$

[0053] 步骤S2-1-3,Roberts梯度运算。梯度运算为灰度变化最大的方向,如果图像中变化比较平坦,那么对应的梯度值小,而边缘区域梯度变化剧烈,选择Roberts算子作为边缘检测算法,适合河海平面的特征清晰,噪声相对较小的环境。Roberts算子如下:X方向Y方向分别为:[1,0;0,-1],[0,1;-1,0],X和Y方向的算子分别和图像进行卷积运算,得到X方向和Y方向的梯度图,利用公式(6)计算梯度幅度图。

$$[0054] \quad \nabla f = |G_x| + |G_y| \quad (6)$$

[0055] 步骤S2-1-4,合成显著性图。合成的比例因子alpha为0.9,计算采用公式(7)。

$$[0056] \quad I = \alpha * I_{\text{phase}} + (1 - \alpha) * I_{\text{roberts}} \quad (7)$$

[0057] 步骤S2-1-5,小波反变换。得到高分辨率的显著图,设定的子带图对角线方向、垂直方向、水平方向均为0,计算采用公式(8)和公式(9)。

$$[0058] \quad X(2n) = X(2n) - \left[\frac{1}{4}(Y(2n-1) + Y(2n+1)) + \frac{1}{2} \right] \quad (8)$$

$$[0059] \quad X(2n+1) = Y(2n+1) - \left[\frac{1}{2}(X(2n) + Y(2n+2)) + \frac{1}{2} \right] \quad (9)$$

[0060] 步骤S2-1-6,显著性区域原始图。得到显著图,提取显著图的轮廓信息,并计算矩形框的坐标,矩形框的坐标图像即为进行桥区识别的显著性区域。

[0061] 步骤S2-2,SIFT特征提取。以显著性检验算法获取的关注区域,采用SIFT算法,获

取关键特征点,并以关键特征点的16*16的领域窗口,并分割成16个4*4子窗口,每个子窗口按照公式(10)和公式(11)计算每个领域点的梯度幅值和方向,并对梯度做高斯加权,然后在4*4的领域范围内生成具有8个方向的梯度方向直方图。于是,每个关键点共有16*8=128个方向的特性向量,并做归一化处理,生成SIFT特征描述子。则所有图像产生N个128维的特征向量,N是所有训练样本图像的特征点总数。

$$[0062] \quad m(x, y) = \sqrt{(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2} \quad (10)$$

$$[0063] \quad \theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)} \quad (11)$$

[0064] 步骤S2-3,生成视觉单词。采用K-means对N个特征向量进行聚类,得到K个聚类中心点,这K个聚类中心即为K个视觉单词,从而构成了视觉单词表。

[0065] 步骤S2-4,生成图像的直方图。针对每个训练样本图像的视觉单词表中各个视觉单词出现的频率。将图像的每个特征点映射到其邻近的视觉单词,设某一特征点的SIFT特征向量为X,到第i个视觉单词的距离为公式(12):

$$[0066] \quad d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{128} (X_j - V_{ij})^2}, 1 \leq i \leq K \quad (12)$$

[0067] 其中: X_j 为SIFT特征向量X的第j维, V_{ij} 是第i个视觉单词的第j维。然后统计各个视觉单词在一副图像中出现的频率。这样,每幅图像都可以用一个K维向量来表征。

[0068] 步骤S2-5,所有训练样本图像在K维特征向量送入SVM去学习,并使用高斯径向基函数为核函数训练样本。

[0069] 步骤S2-6,摄像头采集图像数据,并用步骤S2-5得到K维向量来表征该图像,然后利用训练好的SVM模型判决该图像是否为桥区。

[0070] 步骤3),无人船行驶至桥洞区域,三维激光雷达获取无人船周围100米范围的三维点云数据,建立障碍物栅格图,获得桥洞的位置和距离信息,计算桥区无人船可行路径。本实施例采用最大最小法进行栅格化,将所有的三维点投影到栅格地图上,并记录每个栅格中最大高度和最小高值之差。

[0071] 步骤4),无人船全过程利用组合惯导及船载动力装置准确按照规划路径及设计航速航行,实时纠正航迹偏差。

[0072] 附图对本发明的实施例进行了描述,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,而不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可做出很多形式,这些均属于本发明的保护之内。

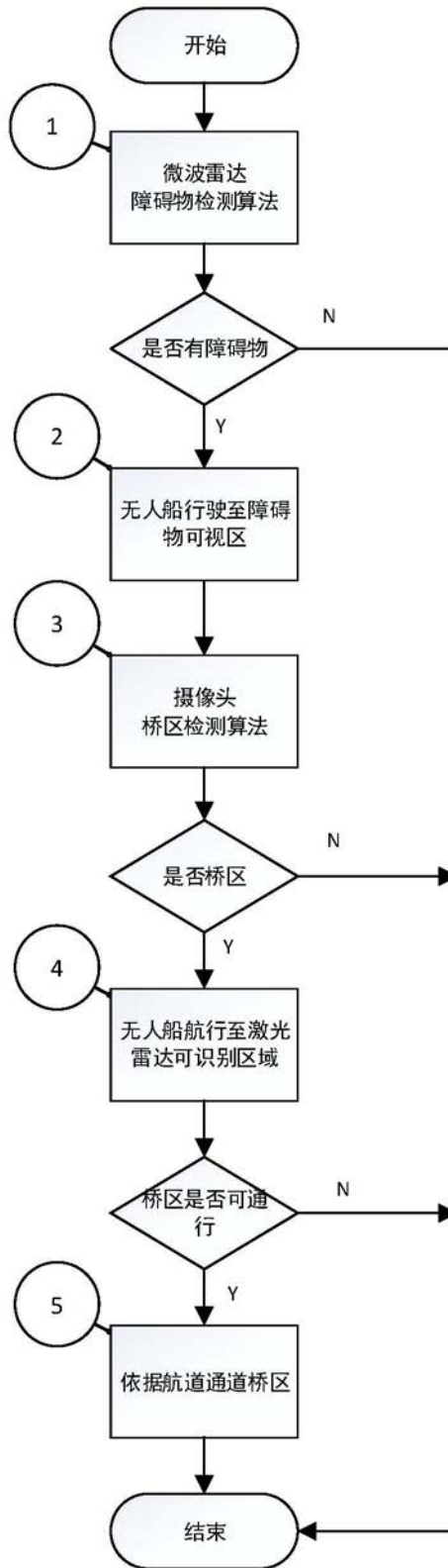


图1

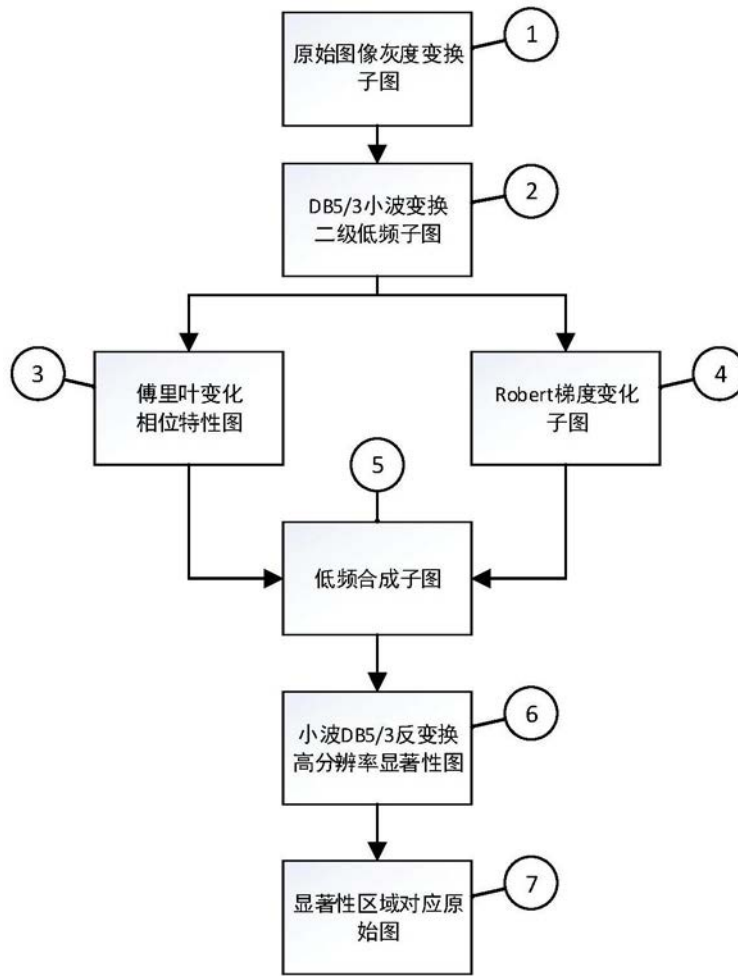


图2

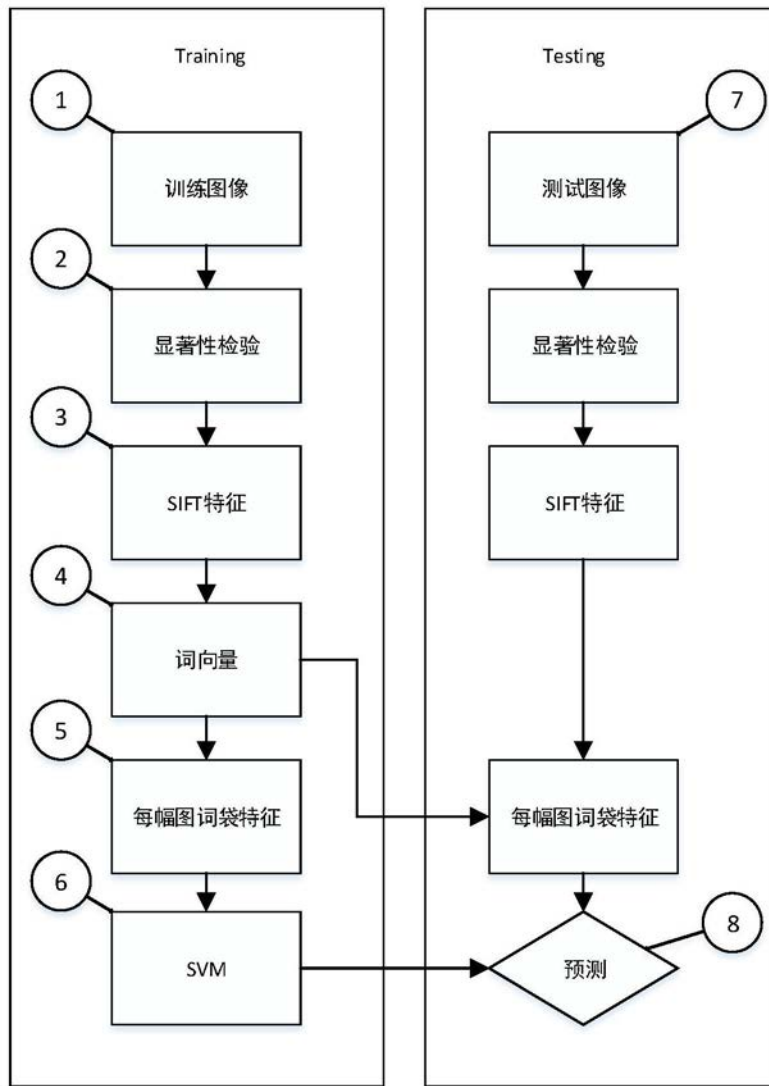


图3