



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104217215 B

(45)授权公告日 2017. 11. 28

(21)申请号 201410431782.4

G06K 9/64(2006.01)

(22)申请日 2014.08.28

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104217215 A

CN 103903230 A,2014.07.02,  
CN 103902972 A,2014.07.02,  
JP 4569186 B2,2010.10.27,

(43)申请公布日 2014.12.17

Xiaoliang Yu等.A Classification

(73)专利权人 哈尔滨工程大学  
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南  
通大街145号哈尔滨工程大学科技处  
知识产权办公室

Algorithm to Distinguish Image as Haze or  
Non-haze.《ICIG'11 Proceedings of the 2011  
Sixth International Conference on Image  
and Graphics》.2010,

(72)发明人 马忠丽 文杰 何晨迪 刘权勇  
刘宏达 郝亮亮

李婵飞.基于图像分割和多分辨率分析的图  
像融合方法研究.《中国优秀硕士学位论文全文  
数据库 信息科技辑》.2014,(第02期),

(51)Int.Cl.

审查员 李亚楠

G06K 9/62(2006.01)

G06K 9/46(2006.01)

G06K 9/20(2006.01)

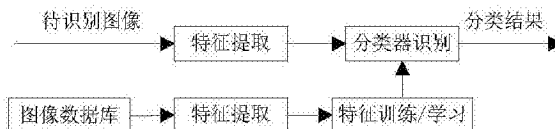
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种水面有雾图像和清晰图像的分类识别  
方法

(57)摘要

本发明属于图像识别领域,具体涉及一种水  
面有雾图像和清晰图像的分类识别方法。本发  
明包括:获取水面待识别图像;建立水面图像数  
据库;提取水面图像特征;训练和学习水面图像  
雾分类识别的特征;识别水面待识别有雾图像  
和清晰图像。本发明能够大大提高水面航行器  
的视觉系统的智能性。特征提取简单,用于识  
别的特征较少,识别率高;作为水面船舶或无  
人艇视觉系统的前期处理,具有自适应判断水  
面天气环境的能力,能有效提高后期去雾、目  
标检测、跟踪和识别的性能。



1. 一种水面有雾图像和清晰图像的分类识别方法,其特征在于:

(1) 获取水面待识别图像:

水面待识别图像的获取通过安装在各类船上的可见光摄像头进行采集;

(2) 建立水面图像数据库:

用于分类器训练的水面图像数据库通过实际拍摄的水面图像以及在各大图片网站搜索得到的水面图像组成;

(3) 提取水面图像特征:

(3.1) 提取彩色图像信息熵特征

彩色图像信息熵为:

$$E = -\sum_{i=0}^{255} p_i \lg(p_i)$$

其中 $p_i$ 表示图像像素点的三个通道值分别为 $(i_r, i_g, i_b)$ 时的概率, $p_i = n_i / (H \times W)$ ,其中 $n_i$ 表示图像像素点的三个通道值分别为 $(i_r, i_g, i_b)$ 出现的次数, $H, W$ 表示图像的高宽尺度;

(3.2) 提取图像均值特征:

均值能反映图像的平均亮度,原图像均值为:

$$\mu = \sum_{i=0}^{255} i p_i$$

其中 $p_i$ 表示图像中灰度值为 $i$ 的像素点的概率,

改进后的图像均值特征为:

$$\mu^* = \mu / (M - m)$$

其中 $\mu$ 所求得均值, $M$ 为其灰度图像的最大灰度值,而 $m$ 为灰度图像的最小灰度值;

(3.3) 提取图像标准差特征:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^{255} (i - \mu)^2 p_i}$$

其中 $\mu$ 为改进后的图像均值, $p_i$ 仍然表示图像中灰度值为 $i$ 的像素点的概率;

(3.4) 提取图像平均梯度特征:

灰度图像的平均梯度为:

$$\bar{g} = \frac{1}{(H-1)(W-1)} \times \sum_{i=1}^{H-1} \sum_{j=1}^{W-1} \sqrt{\frac{(I(i,j) - I(i+1,j))^2 + (I(i,j) - I(i,j+1))^2}{2}}$$

其中, $I(i, j)$ 表示图像在 $(i, j)$ 坐标处的像素值,图像 $I$ 的高宽尺度为 $H, W$ ;

(3.5) 提取图像视觉对比度特征:

视觉对比度为:

$$VCM = 100 * R_v / R_t$$

其中 $R_v$ 表示图像中子区域的方差超过给定阈值的数量, $R_t$ 则表示图像所分成子区域的总数;

确定子区域大小以及给定比较阈值 $t$ ,子区域大小选取为 $0.05 * \min(H, W)$ ,其中 $H, W$ 为图像的高宽尺度;而阈值则根据OTSU阈值分割方法自适应的选取;

按照从左往右、从上到下的顺序将图像分割为边长为 $0.05 * \min(H, W)$ 的方形子区域,求

取图像每个子区域的方差以及子区域总数 $R_t$ ;

根据OTSU自适应分割算法求取方差的最佳分割阈值 $t$ ,统计子区域方差大于阈值 $t$ 的数量 $R_v$ ,得到视觉对比度VCM;

(3.6) 提取图像能见度特征:

对于灰度图像 $f$ 的像素点 $x$ ,若在 $x$ 的4邻域像素中满足如下条件:

$$\min[f(x), f(y)] \leq s < \max[f(x), f(y)]$$

则称图像 $f$ 的像素对 $(x, y)$ 能被阈值 $s$ 分割,其中 $y$ 为 $x$ 的4邻域像素点,即 $y \in V_4(x)$ , $F(s)$ 为图像 $f$ 中所有能被阈值 $s$ 分割的像素对 $(x, y)$ 所组成的集合,即对于每一个 $s \in [0, 255]$ 都对应一个 $F(s)$ ;

对于 $F(s)$ 中的任意像素对 $(x, y)$ ,空间对比度为:

$$C_{x,y}(s) = \min\left[\frac{|s - f(x)|}{\max(s, f(x))}, \frac{|s - f(y)|}{\max(s, f(y))}\right]$$

则集合 $F(s)$ 的平均对比度为:

$$C(s) = \frac{1}{\text{card}F(s)} \sum_{(x,y) \in F(s)} C_{x,y}(s)$$

其中 $\text{card}F(s)$ 表示集合 $F(s)$ 的像素对总数;

从而得到最佳的分割阈值 $s_0$ :

$$s_0 = \arg \max_{s \in [0, 255]} C(s)$$

即求取让平均对比度最大的阈值 $s_0$ 作为图像的分割阈值,而在原灰度图像 $f$ 中满足空间对比度 $2C_x(s_0) > 0.05$ 的像素点则为可见边缘像素点,从而得到图像能见度:

$$V = \frac{n}{m} \log \sum_{x \in \mathcal{P}} C_x(s_0)$$

其中 $n$ 为可见边缘像素点总数, $m$ 为图像中满足条件 $C_x(s_0) > 0$ 的所有像素点总数, $\mathcal{P}$ 为可见边缘像素点组成的集合;

(4) 训练和学习水面图像雾分类识别的特征:

进行特征数据规格化:

$$v' = \frac{v - \min_A}{\max_A - \min_A};$$

其中 $\min_A$ 、 $\max_A$ 表示特征 $A$ 中的最小值和最大值, $v$ 为特征 $A$ 的特征值;

将经过数据规格化后的特征利用SVM分类器进行特征训练,从而得到能够区分有雾图像和无雾图像的分类超平面;

(5) 识别水面待识别有雾图像和清晰图像:

将无人艇或水面船舶等航行器采集到的实时图像,提取6个用于识别是否含雾的特征,输入到第4节训练好的分类器中进行识别,最后输出识别结果。

## 一种水面有雾图像和清晰图像的分类识别方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于图像识别领域,具体涉及一种水面有雾图像和清晰图像的分类识别方法。

### 背景技术

[0002] 水面有雾图像和清晰图像的识别技术属于图像识别技术,目的是为了智能的识别水面航行器当前的环境,判断是否需要进行实时的视频图像去雾处理,能提高水面航行器特别是无人艇这种高智能设备的智能性。我国海域辽阔,海、江、河流等地常常会出现雾的环境,导致能见度低,影响人们的视觉,从而易出现迷失航向,甚至出现海难等严重问题。目前已经出现了许多视频图像去雾技术,能够有效提高当前场景的能见度,但是由于这些技术仅仅针对有雾的图像或视频进行增强处理,无法智能的判断当前场景是否需要去雾处理,对于清晰图像进行去雾处理不仅浪费时间,对某些特殊场合如无人艇或导弹制导等会严重影响目标的检测、识别的实时性,而且对于清晰图像的去雾处理甚至会出现处理后图像视觉性能变差的现象,因此研究水面有雾图像和清晰图像的识别技术意义重大,能有效提高水面船舶,特别是无人艇的智能性。

[0003] 海雾天气严对无人艇和水面船舶的安全航行有着严重的影响,每年因海雾造成的船舶碰撞、触礁、搁浅等海难事故常常发生。据统计,在日本近海发生了至少270次由于海雾引起的海难。在1955年5月11日,“紫云丸”号与“第三宇高丸”号在日本濑户内海相撞,“紫云丸”沉没,死亡人数达168人。在军事上,水面有雾图像和清晰图像识别技术能有效提高水面航行器的智能去雾能力和实时性,提高其在目标检测、跟踪和识别的能力,甚至提高导弹制导的性能。因此这项工作能广泛应用于海域海湾、港口的监测与海洋运输、捕鱼的监管以及军事战争。

[0004] 目前的有雾图像和清晰图像的分类识别技术较少,且只针对公路和航运交通场景,专门针对水面目标图像的雾分类识别技术还不多见,直接利用现有的陆地场景雾分类识别效果也不尽如人意。

[0005] 相对于陆地场景而言,海雾场景下的图片的主要特征如下:

[0006] (1) 水面图像主要由天空区域、水面区域和目标区域组成,目标主要是船只、岛屿或水面的桥等,其中远景下天空区域和水面区域较大,而目标区域很小,近景下目标区域较大;

[0007] (2) 水面含雾图像特别是海雾的浓度往往比较大,而且一般雾还不均匀,且常常出现有雾甚至浓雾图像中近处的船目标大且清晰,而远处的则非常模糊的现象;

[0008] (3) 水面图像场景背景简单,但常常伴有海浪的影响,比陆地视频监控背景复杂,且船只上的摄像头采集到的视频图像往往背景处于运动变化状态;

[0009] (4) 海雾场景下细节、色彩等没有陆地场景丰富。

[0010] 目前研究水面有雾图像和清晰图像的判别的方法还不多见,针对陆地场景的雾分类识别方法也不多,有学者通过提取图像的可见度、暗通道的强度以及图像视觉对比度等

特征用于识别陆地场景的雾,所提取的特征较少,而且用于训练识别的图像样本库较少;有学者利用视频背景的傅里叶频谱判断是否为雾天背景,该方法适用于视频监控场景,但不适用于无人艇或水面船舶这种视觉系统和目标处于相对运动状态的场景,主要是因为相对运动时,背景变化快,很难实时提取背景,且不同背景下的傅里叶频谱会有较大差别。

## 发明内容

[0011] 本发明的目的在于提供一种提高智能性与自适应能力的水面有雾图像和清晰图像的分类识别方法。

[0012] 本发明的目的是这样实现的:

[0013] (1) 获取水面待识别图像:

[0014] 水面待识别图像的获取通过安装在各类船上的可见光摄像头进行采集;

[0015] (2) 建立水面图像数据库:

[0016] 用于分类器训练的水面图像数据库通过实际拍摄的水面图像以及在各大图片网站搜索得到的水面图像组成;

[0017] (3) 提取水面图像特征:

[0018] (3.1) 提取彩色图像信息熵特征

[0019] 彩色图像信息熵为:

$$[0020] \quad E = -\sum_{i=0}^{255} p_i \lg(p_i)$$

[0021] 其中 $p_i$ 表示图像像素点的三个通道值分别为 $(i_r, i_g, i_b)$ 时的概率, $p_i = n_i / (H \times W)$ ,其中 $n_i$ 表示图像像素点的三个通道值分别为 $(i_r, i_g, i_b)$ 出现的次数, $H$ 、 $W$ 表示图像的高宽尺度;

[0022] (3.2) 提取图像均值特征:

[0023] 均值能反映图像的平均亮度,原图像均值为:

$$[0024] \quad \mu = \sum_{i=0}^{255} i p_i$$

[0025] 其中 $p_i$ 表示图像中灰度值为 $i$ 的像素点的概率,

[0026] 改进后的图像均值特征为:

$$[0027] \quad \mu^* = \mu / (M - m)$$

[0028] 其中 $\mu$ 所求得均值, $M$ 为其灰度图像的最大灰度值,而 $m$ 为灰度图像的最小灰度值;

[0029] (3.3) 提取图像标准差特征:

$$[0030] \quad \sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^{255} (i - \mu)^2 p_i}$$

[0031] 其中 $\mu$ 为所求的均值, $p_i$ 仍然表示图像中灰度值为 $i$ 的像素点的概率;

[0032] (3.4) 提取图像平均梯度特征:

[0033] 灰度图像的平均梯度为:

$$[0034] \quad \bar{g} = \frac{1}{(H-1)(W-1)} \times \sum_{i=1}^{H-1} \sum_{j=1}^{W-1} \sqrt{\frac{(I(i,j) - I(i+1,j))^2 + (I(i,j) - I(i,j+1))^2}{2}}$$

[0035] 其中,  $I(i, j)$  表示图像在  $(i, j)$  坐标处的像素值, 图像  $I$  的高宽尺度为  $H, W$ ;

[0036] (3.5) 提取图像视觉对比度特征:

[0037] 视觉对比度为:

[0038]  $VCM = 100 * R_v / R_t$

[0039] 其中  $R_v$  表示图像中子区域的方差超过给定阈值的数量,  $R_t$  则表示图像所分成子区域的总数;

[0040] 确定子区域大小以及给定比较阈值  $t$ , 子区域大小选取为  $0.05 * \min(H, W)$ , 其中  $H, W$  为图像的高宽尺度; 而阈值则根据 OTSU 阈值分割方法自适应的选取:

[0041] 按照从左往右、从上到下的顺序将图像分割为边长为  $0.05 * \min(H, W)$  的方形子区域, 求取图像每个子区域的方差以及子区域总数  $R_t$ ;

[0042] 根据 OTSU 自适应分割算法求取方差的最佳分割阈值  $t$ , 统计子区域方差大于阈值  $t$  的数量  $R_v$ , 得到视觉对比度  $VCM$ ;

[0043] (3.6) 提取图像能见度特征:

[0044] 对于灰度图像  $f$  的像素点  $x$ , 若在  $x$  的 4 邻域像素中满足如下条件:

[0045]  $\min[f(x), f(y)] \leq s < \max[f(x), f(y)]$

[0046] 则称图像  $f$  的像素对  $(x, y)$  能被阈值  $s$  分割, 其中  $y$  为  $x$  的 4 邻域像素点, 即  $y \in V_4(x)$ ,  $F(s)$  为图像  $f$  中所有能被阈值  $s$  分割的像素对  $(x, y)$  所组成的集合, 即对于每一个  $s \in [0, 255]$  都对应一个  $F(s)$ ;

[0047] 对于  $F(s)$  中的任意像素对  $(x, y)$ , 空间对比度为:

[0048] 
$$C_{x,y}(s) = \min\left[\frac{|s - f(x)|}{\max(s, f(x))}, \frac{|s - f(y)|}{\max(s, f(y))}\right]$$

[0049] 则集合  $F(s)$  的平均对比度为:

[0050] 
$$C(s) = \frac{1}{\text{card}F(s)} \sum_{(x,y) \in F(s)} C_{x,y}(s)$$

[0051] 其中  $\text{card}F(s)$  表示集合  $F(s)$  的像素对总数;

[0052] 从而得到最佳的分割阈值  $s_0$ :

[0053] 
$$s_0 = \arg \max_{s \in [0, 255]} C(s)$$

[0054] 即求取让平均对比度最大的阈值  $s_0$  作为图像的分割阈值, 而在原灰度图像  $f$  中满足空间对比度  $2C_x(s_0) > 0.05$  的像素点则为可见边缘像素点, 从而得到图像能见度:

[0055] 
$$V = \frac{n}{m} \log \sum_{x \in \phi} C_x(s_0)$$

[0056] 其中  $n$  为可见边缘像素点总数,  $m$  为图像中满足条件  $C_x(s_0) > 0$  的所有像素点总数,  $\phi$  为可见边缘像素点组成的集合;

[0057] (4) 训练和学习水面图像雾分类识别的特征:

[0058] 进行特征数据规格化:

[0059] 
$$v' = \frac{v - \min_A}{\max_A - \min_A};$$

[0060] 其中 $\min_A$ 、 $\max_A$ 表示特征A中的最小值和最大值， $v$ 为特征A的特征值；

[0061] 将经过数据规格化后的特征利用SVM分类器进行特征训练，从而得到能够区分有雾图像和无雾图像的分类超平面；

[0062] (5) 识别水面待识别有雾图像和清晰图像：

[0063] 将无人艇或水面船舶等航行器采集到的实时图像，提取6个用于识别是否含雾的特征，输入到第4节训练好的分类器中进行识别，最后输出识别结果。

[0064] 本发明的有益效果在于：该方法适用于所有水面航行器的视觉系统，能够大大提高水面航行器的视觉系统的智能性。并且具有以下优点：特征提取简单，用于识别的特征较少，识别率高；作为水面船舶或无人艇视觉系统的前期处理，具有自适应判断水面天气环境的能力，能有效提高后期去雾、目标检测、跟踪和识别的性能。

## 附图说明

[0065] 图1水面有雾图像和清晰图像分类识别的流程图；

[0066] 图2水面有雾图像和清晰图像特征对比。

## 具体实施方式

[0067] 下面结合附图对本发明做进一步描述。

[0068] 本发明涉及一种水面有雾图像和清晰图像的识别技术属于图像识别领域，涉及的是一种水面场景下的水面有雾图像和清晰图像的识别技术，即将图像特征提取和基于SVM相结合的方法，适用于所有水面航行器的视觉系统，可作为水面航行器智能视频图像去雾的前期处理，提高其智能性和自适应能力。

[0069] 针对特殊的水面图像场景，本发明为了提高水面船舶或无人艇等航行器视频去雾的智能性，公开了一种有效的水面有雾图像和清晰图像的分类识别方法：(1) 水面待识别图像的获取可通过安装在各类船只上的可见光摄像头(如CCD摄像头或CMOS摄像头)进行获取。(2) 对搜集到的水面图像数据库进行特征提取，包括：信息熵、均值、标准差、平均梯度、视觉对比度和能见度。(3) 利用支持向量机(support vector machine, SVM)对这些特征进行训练和学习，得到区分有雾图像和清晰图像的一个分类超平面。(4) 对第一步采集到的待识别图像进行上述6个特征提取，然后输入到第三步中已经训练好的分类器中进行分类器识别，得到最终的分类结果。

[0070] 本水面有雾图像和清晰图像的分类识别方法包括水面待识别图像获取，水面图像数据库的建立、特征提取、特征训练和学习、分类器识别等步骤，流程图如图1。

[0071] 本发明涉及水面有雾图像和清晰图像的分类识别方法。

[0072] (1) 待识别图像可通过无人艇或水面船舶上安装的可见光图像采集装置获取。

[0073] (2) 图像数据库由事先采集到的大量不同场景、不同环境下的水面图像组成，其中包括大量含雾的水面图像和清晰的水面图像。

[0074] (3) 对数据库中的图像样本进行特征提取，所提取的特征包括：图像的信息熵、均值、标准差、平均梯度、视觉对比度和能见度。

[0075] (4) 利用支持向量机(support vector machine, SVM)对这些特征进行训练和学习，得到区分有雾图像和清晰图像的一个分类超平面。

[0076] (5)对无人艇或水面船舶采集到的待识别图像进行上述6个特征提取,然后输入到第三步中已经训练好的分类器中,得到最终的分类结果。

[0077] 本发明能所提取的特征能简单有效的识别有雾图像和清晰图像,平均识别率为93.5968%。

[0078] 具体为:

[0079] 1.水面待识别图像的获取

[0080] 水面待识别图像的获取通过安装在各类船上的可见光摄像头进行采集。

[0081] 2.水面图像数据库的建立

[0082] 用于分类器训练的水面图像数据库通过实际拍摄的水面图像以及在各大图片网站搜索得到的图像组成。其中包括不同场景、不同环境下的各种水面图像2100张,其中含有水面清晰图像1160张,水面有雾图像940张。

[0083] 3.水面图像特征提取

[0084] 提取水面有雾图像与清晰图像中区别明显的特征是识别有雾图像和清晰图像的关键,通过对大量不同场景下的海上图片进行统计分析,其中包括远景处的海船、俯视图下的场景以及近景等各种情况下的水面图像,得到无雾图像和有雾图像在图像信息熵、均值、标准差、平均梯度、视觉对比度、图像能见度等6个典型特征下差异比较大,因此选择这6个特征作为有雾图像和清晰图像的分类标准。其中水面有雾图像和清晰图像特征对比如图2所示。

[0085] 3.1彩色图像信息熵特征的提取

[0086] 彩色图像信息熵的计算公式为:

$$[0087] \quad E = -\sum_{i=0}^{255} p_i \lg(p_i) \quad (1)$$

[0088] 其中 $p_i$ 表示图像像素点的三个通道值分别为 $(i_r, i_g, i_b)$ 时的概率,可表示为 $p_i = n_i / (H \times W)$ ,其中 $n_i$ 表示图像像素点的三个通道值分别为 $(i_r, i_g, i_b)$ 出现的次数, $H, W$ 表示图像的高宽尺度。

[0089] 3.2图像均值特征提取

[0090] 均值能反映图像的平均亮度,原图像均值公式表示为:

$$[0091] \quad \mu = \sum_{i=0}^{255} i p_i \quad (2)$$

[0092] 其中 $p_i$ 表示图像中灰度值为 $i$ 的像素点的概率。

[0093] 改进后的图像均值特征公式为:

$$[0094] \quad \mu^* = \mu / (M - m) \quad (3)$$

[0095] 其中 $\mu$ 为(2)式所求得均值, $M$ 为其灰度图像的最大灰度值,而 $m$ 为灰度图像的最小灰度值。

[0096] 3.3图像标准差特征提取

[0097] 图像标准差表示图像的各个像素灰度值相对于灰度平均值的离散情况,一般方差越大的图像灰度层次越丰富,清晰度越好。公式为:



$$[0098] \quad \sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^{255} (i - \mu)^2 p_i} \quad (4)$$

[0099] 其中 $\mu$ 为式(2)所求的均值, $p_i$ 仍然表示图像中灰度值为 $i$ 的像素点的概率。

### [0100] 3.4图像平均梯度特征提取

[0101] 图像的平均梯度反映图像的细节信息,能反映图像的层次内容和清晰程度,一般图像平均梯度越大,说明图像含有更丰富的边缘信息,图像清晰度越好。灰度图像的平均梯度计算公式为:

$$[0102] \quad \bar{g} = \frac{1}{(H-1)(W-1)} \times \sum_{i=1}^{H-1} \sum_{j=1}^{W-1} \sqrt{\frac{(I(i,j) - I(i+1,j))^2 + (I(i,j) - I(i,j+1))^2}{2}} \quad (5)$$

[0103] 其中, $I(i,j)$ 表示图像在 $(i,j)$ 坐标处的像素值,图像 $I$ 的高宽尺度为 $H,W$ 。

### [0104] 3.5图像视觉对比度特征提取

[0105] 通过对大量图像的统计测试,证明清晰图像和边缘细节明显的图像,其视觉对比度值较大,雾气越浓,其视觉对比度值越小,甚至于为0,该指标同样可作为图像去雾后的质量评价标准。视觉对比度计算公式如下:

$$[0106] \quad VCM = 100 * R_v / R_t \quad (6)$$

[0107] 其中 $R_v$ 表示图像中子区域的方差超过给定阈值的数量, $R_t$ 则表示图像所分成子区域的总数。

[0108] 为由式(6)求得视觉对比度 $VCM$ ,需要确定子区域大小以及给定比较阈值 $t$ ,本文中子区域大小简单的选取为 $0.05 * \min(H,W)$ ,其中 $H,W$ 为图像的高宽尺度;而阈值则根据OTSU阈值分割方法自适应的选取。基本步骤如下:

[0109] 1) 按照从左往右、从上到下的顺序将图像分割为若干个边长为 $0.05 * \min(H,W)$ 的方形子区域,右边界和下边界处的子区域可能会小于 $0.05 * \min(H,W)$ ,并求取图像每个子区域的方差以及子区域总数 $R_t$ ;

[0110] 2) 根据OTSU自适应分割算法求取这些方差的最佳分割阈值 $t$ ,然后统计子区域方差大于阈值 $t$ 的数量 $R_v$ ,从而根据式(6)得到视觉对比度 $VCM$ 。

### [0111] 3.6图像能见度特征提取

[0112] 在有雾环境下拍摄的图像边缘模糊,在浓雾下图片中甚至会出现完全看不到目标的现象,雾气越浓,边缘越模糊,其图像的能见度越低,因此可见边缘可以作为图像能见度的评价标准。

[0113] 对于灰度图像 $f$ 的任意一个像素点 $x$ ,若在 $x$ 的4邻域像素中满足如下条件:

$$[0114] \quad \min[f(x), f(y)] \leq s < \max[f(x), f(y)] \quad (7)$$

[0115] 则称图像 $f$ 的像素对 $(x,y)$ 能被阈值 $s$ 分割,其中 $y$ 为 $x$ 的4邻域像素点,即 $y \in V_4(x)$ 。定义 $F(s)$ 为图像 $f$ 中所有能被阈值 $s$ 分割的像素对 $(x,y)$ 所组成的集合,即对于每一个 $s \in [0, 255]$ 都对应一个 $F(s)$ 。

[0116] 对于 $F(s)$ 中的任意像素对 $(x,y)$ ,其空间对比度可表示为:

$$[0117] \quad C_{x,y}(s) = \min\left[\frac{|s - f(x)|}{\max(s, f(x))}, \frac{|s - f(y)|}{\max(s, f(y))}\right] \quad (8)$$

[0118] 则集合 $F(s)$ 的平均对比度为:

$$[0119] \quad C(s) = \frac{1}{\text{card}F(s)} \sum_{(x,y) \in F(s)} C_{x,y}(s) \quad (9)$$

[0120] 其中 $\text{card}F(s)$ 表示集合 $F(s)$ 的像素对总数。

[0121] 从而得到最佳的分割阈值 $s_0$ :

$$[0122] \quad s_0 = \arg \max_{s \in [0,255]} C(s) \quad (10)$$

[0123] 即求取让平均对比度最大的阈值 $s_0$ 作为图像的分割阈值。而在原灰度图像 $f$ 中满足空间对比度 $2C_x(s_0) > 0.05$ 的像素点则为可见边缘像素点。从而得到图像能见度:

$$[0124] \quad V = \frac{n}{m} \log \sum_{x \in \mathcal{P}} C_x(s_0) \quad (11)$$

[0125] 其中 $n$ 为可见边缘像素点总数, $m$ 为图像中满足条件 $C_x(s_0) > 0$ 的所有像素点总数, $\mathcal{P}$ 为可见边缘像素点组成的集合。

[0126] 4. 水面图像雾分类识别的特征训练和学习

[0127] 由于所提取的每个图像样本的6个特征中有的特征值很大,大多数该特征值都大于50,而有的特征,其值很小,小于10,若直接利用这些数据进行分类器训练会造成大特征值贡献大而忽略小特征值对于分类训练的贡献,因此在进行SVM特征训练之前,需要进行特征数据规格化,规格化公式如下:

$$[0128] \quad v' = \frac{v - \min_A}{\max_A - \min_A} \quad (12)$$

[0129] 其中 $\min_A, \max_A$ 表示特征 $A$ 中的最小值和最大值, $v$ 为特征 $A$ 的某一个特征值,经过式(12)能将所有特征分别规格化到 $[0,1]$ 范围。

[0130] 将经过数据规格化后的特征利用SVM分类器进行特征训练,从而得到能够区分有雾图像和无雾图像的分类超平面。

[0131] 5. 水面待识别有雾图像和清晰图像的识别

[0132] 将无人艇或水面船舶等航行器采集到的实时图像,按照式(1)到式(12)的公式提取其6个用于识别是否含雾的特征,然后输入到第4节训练好的分类器中进行识别,最后输出识别结果。

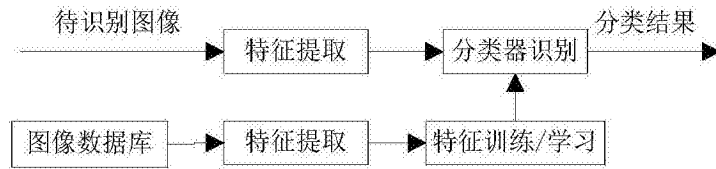


图1

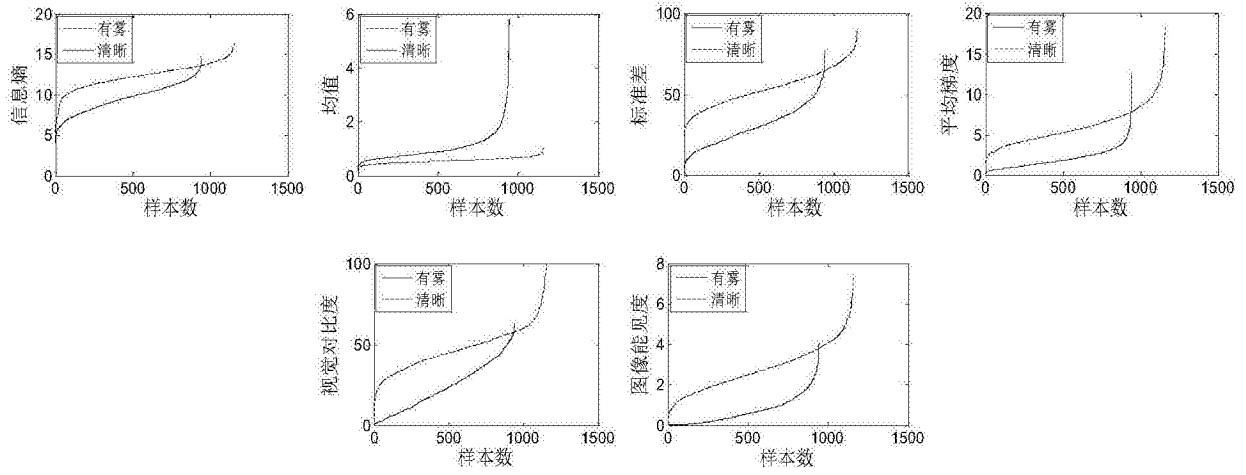


图2