

文章编号 1004-924X(2012)02-0403-10

复杂海空背景下弱小目标的快速自动检测

曾文静, 万磊, 张铁栋, 徐玉如*

(哈尔滨工程大学 水下机器人技术国防科技重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 针对海面运动载体的可见光序列图像, 结合复杂海空背景图像的特点, 提出了一种不以检测海天线为前提的弱小目标检测方法。首先, 修复图像中被高亮度噪声损毁的部分, 如曝光区域或反光区域; 接着, 量化子图像的区域复杂度以及单元区域上下邻域的灰度差异, 据此来判断海天线区域是否存在, 若存在则预测海天线区域的位置, 否则放弃后续处理; 然后, 采取 Mean-shift 分割算法中先滤波后聚类的策略, 使用周围纹理抑制滤波来平滑海天线区域, 并以像素点和点集为单位对平滑图像进行聚类; 最后, 将最大面积区域与其他区域分离来二值化图像, 完成目标提取。试验证明, 该方法能够很好地定位目标信息, 单帧处理平均耗时为 35 ms, 具有准确性和实时性。

关键词: 目标检测; 图像修复; 区域预测; 周围纹理抑制滤波; 聚类

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122002.0403

Fast detection of weak targets in complex sea-sky background

ZENG Wen-jing, WAN Lei, ZHANG Tie-dong, XU Yu-ru*

(State Key Laboratory of Autonomous Underwater Vehicle,
Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

* Corresponding author, E-mail: xuyuru@hrbeu.edu.cn

Abstract: Without detection of the location of sea-sky line in advance, a feasible method combining with the characters of marine visible images and a complex sea-sky background was proposed to detect distant weak targets in the sequential images from a surface vehicle. Firstly, the images damaged by the noise such as exposures and reflections was mended by the border color of ruined range. Then, the complexity of sub-images and their neighborhood average gray difference were measured to predict the sea-sky region. If the sea-sky region was obtained, the location of the sea-sky should be predicted. Otherwise, the consequent process of images could be eliminated. The strategy of filtering and clustering in Mean-shift segmentation was adopted, in which the surround suppression filter was applied to smoothing the sea-sky region and the smoothed image was clustered by taking the pixels and points as units. Finally, the largest region was assumed to be the background and the rest was taken as target information. The experiment results prove that this method can locate the objects efficiently and the time cost is 35 ms/frame, which is robust and real-time.

收稿日期: 2011-09-01; 修订日期: 2011-11-11.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 51009040, No. E091002); 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2011AA09A106)

Key words: target detection; image restoration; region prediction; surround suppression filtering; clustering

1 引言

数字摄像头作为雷达和热成像的辅助感知设备具有独特的优势,采集的视频素材分辨率高、成本低、易实现。从 20 世纪 90 年代起,图像和视频处理方法就应用于检测和识别海上弱小目标。从近来的环境信息研究看出,鉴于船舶系统的导航、各种碰撞灾难的避免、入侵者的身份核查以及海上事故的人员搜救等需求,在不同状况的海面环境图像中检测到特定的目标物愈来愈重要^[1]。在动态图像处理 and 计算机视觉领域,运动目标检测的目的是将目标与背景分离并定位,以此来进行便捷的后续处理^[2]。由于弱小目标本身的灰度、形状、纹理和结构特征不明显,对它的检测依然是具有挑战性的技术难题^[3]。

在海面可见光图像中,目标、背景和噪声的特点以及远目标检测存在的问题主要包括:(1)目标信号强度小,通常目标在图像中仅有几十个像素(甚至更少),而背景和噪声占较大比例且目标与背景间的对比度不大,信噪比较低;(2)检测环境复杂,水面波浪的起伏和浪花干扰、日光在水面上的反射折射干扰以及雨雾雪天气导致的能见度降低等都会对目标检测造成较大影响;(3)安装在海面运动载体上的摄像机拍到的画面通常不稳定,同时波浪起伏与目标不可预知的运动,可能导致目标被遮挡,在图像中短暂丢失;(4)大数据量检测算法的复杂度会影响检测结果的即时输出。

目前,较多文献报导的是关于红外图像弱小目标的检测,主要基于梯度检测、小波变换、纹理特征或能量积累^[4]等原理。这些文献虽然对于可见光图像有一定的参考作用,但两者图像的形成存在性质上的差异,所以对于后者来说,仍需要深入研究适应其特点的检测方法。董宇星等^[5]提出了先利用灰度特性提取海天线,然后利用一维最大熵阈值分割法对目标进行检测。黄英东等^[6]综合运用边缘检测、最大类间方差(OTSU)算法以及 Hough 变换检测出海天线,进而使用投影法提取海天线区域中的舰船目标。Sergiy Fefilyatyev

等^[7]通过海天线及处于海天线上的异物检测候选目标,并根据连续帧的结果来确定真实目标。G. K. Santhalia 等^[8]先提取海天线,最后分析海天线上下的块直方图,去除直方图相近的块即天空区域和海面区域,从而留下目标区域。

以上方法的检测效果完全依赖海天线检测的正确与否。如果在光照条件不好的状态下,所得到的可见光图像中,连人眼都较难分辨出正确的海天线位置。而且当图像中出现反光区时,将会导致检测结果中包含许多类似弱小目标的伪目标区域。所以即使在海天线较为明显,容易提取的前提下,如何将伪目标出现的概率降到最低也是影响海面目标检测的重要因素。鉴于此,本文提出了一种检测方法以解决以上的问题,该方法省去了检测海天线的过程。首先消除海面反光区域,之后利用海面图像的分块复杂度和相邻块间灰度的差异来定位海天界限区域,然后在海天界限区域进行滤波聚类以快速精确地分割出弱小目标。

2 高亮区域消除

船载电视跟踪系统用于对海天背景下的小目标进行捕获和跟踪,主要是通过单帧图像处理捕获和跟踪结果,其难点在于消除海空背景所形成的强杂波^[3]。由于摄像头随载体运动的过程中,镜头与阳光和水面的角度可以使得任意时刻或图像的任意位置出现反光区域或曝光区域。对于连续单帧图像来说,目标检测算法可能在上一帧取得好的效果,却完全不适用于下一帧。

为了提高海面目标自动检测算法的鲁棒性,先扫描图像检查是否有高亮度区域,如果有需可先去除,使之尽量保持在适应该算法的正常图像系列之中。高亮度区域消除对于接下来的两个步骤具有显著的益处:(1)大片的海面反光区域或天空曝光区域不会扰乱海天线区域的定位,(2)经过滤波聚类后的分割结果中不会包含海面粼粼的波光产生的伪目标区域。

将带高亮度区域的图像看作被噪声腐蚀的图

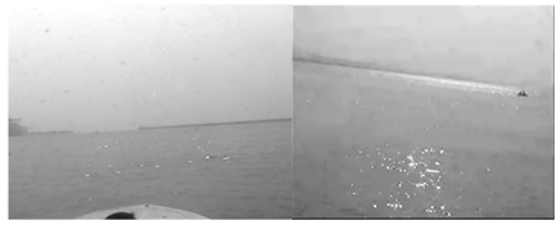
像,利用损坏区域边缘的颜色和结构,繁殖和混合到损坏区域里面,既不影响目标区域也不影响其他背景区域。设置阈值 S ,亮度大于 S 的像素属于高亮度区域, P 为像素的亮度值, m 为每个高亮度像素的固定平均邻域, n 为邻域累加值, f 与 R 用于计算最终的亮度值来代替原先的亮度值。图像修复过程如下:

```

For 每个像素  $P(i, j)$ 
{
  If ( $P(i, j) > S$ )
     $0 \Rightarrow n, 0 \Rightarrow f, 0 \Rightarrow R$ ;
  While ( $f=0$  and  $R=0$ )
  {
    If ( $n=0$ )
      扫描以  $(i, j)$  为中心的  $m \times m$  矩形邻域;
      For 属于邻域  $m \times m$  中的每个像素  $P(m)$ 
      {
        If ( $P(m) \leq S$ )
           $f+1 \Rightarrow f, R+P(m) \Rightarrow R$ 
        end if
      }
    else
      扫描以  $(i, j)$  为中心的  $(m+n) \times (m+n)$  邻域;
      For 属于邻域  $(m+n) \times (m+n) - m \times m$  中的每个像素  $P(m+n)$ 
      {
        If ( $P(m+n) \leq S$ )
           $f+1 \Rightarrow f, R+P(m) \Rightarrow R$ ;
        end if
      }
    end if
     $n+2 \Rightarrow n$ ;
     $P(i, j) = R/f$ ;
  }
  end if
}

```

以上算法可以快速消除大面积和小面积的高亮度区域,设定 $S=210, m=3$,对图 1(a)、(b) 所示的不同时间采集的水面图像进行修补。图像中的天空曝光部分和水面点状的反光光斑及连成片的反光水域,都得到了很好的恢复,其效果如图 1(c)、(d) 所示。



(a) 时间:8:50

(b) 时间:15:58

(a) Time:8:50

(b) Time:15:08



(c) (a) 去高亮区域效果

(d) (b) 去高亮区域效果

(c) Highlight area (a) removed

(d) Highlight area (b) removed

图 1 带高亮度区域的海面图片及去高亮区域的效果图

Fig. 1 Marine images with highlight area and corresponding images without highlight area

3 预测并定位海天线区域

3.1 以线检测为前提的局限性

载体航行过程中,可见光摄像机得到的图像背景虽然时刻变化,但总体来讲图像由上中下三部分组成—天空区域、海天线区域和海面区域。由于中远距离海平面的成像特性决定了目标不可能完全脱离海天线而处在天空区域,或完全脱离海天线处在海面区域^[9],也就是说,远距离的目标总是出现在海天线区域^[10]。所以很多文献包括红外图像的目标检测方面都考虑先检测海天线的位置,再依据此来判断目标处于图像中的潜在区域。

然而这种以海天线检测为前提的海面目标检测是存在弊端的。因为在某种状况下如天气海况恶劣时,海天线信息极为微弱,如图 2(a)、(b)、(c)、(d)。OSTU 方法是文献中较为常用的检测海天线的方法,将其用于以上图像的分割结果如图 3 所示。可见在复杂海空背景下,4 幅图像均无法达到理想的分割效果来准确检测海天线。另外如果载体随海浪颠簸得严重时,就可能出现全天空背景或全海面背景,即不存在海界限区域,如

图 2(e)、(f)。那么海天线检测过程完全可以省略,这样既避免了误检结果又节省了处理时间。

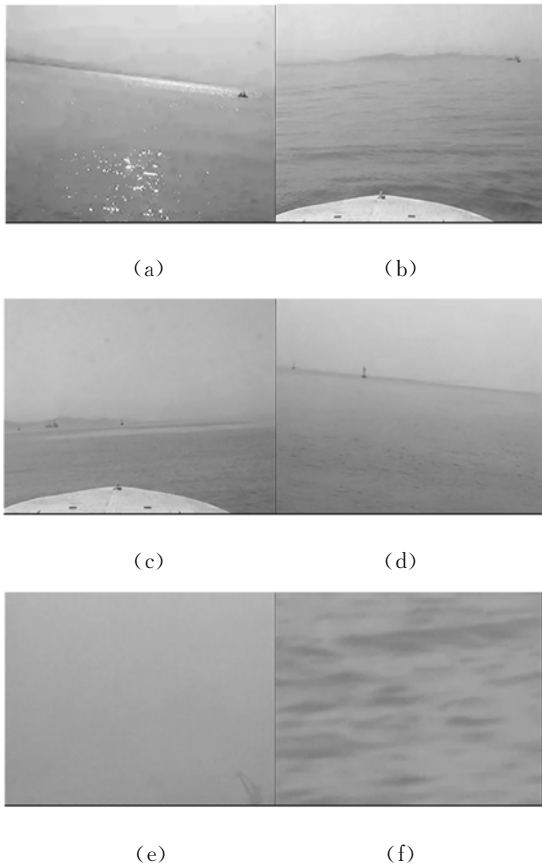


图 2 复杂海空背景下的海面图像

Fig. 2 Marine images with complex sea-sky background

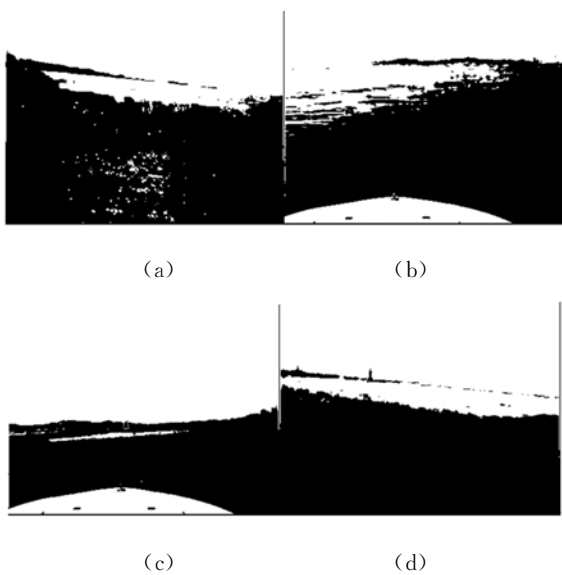


图 3 对应图 2(a)(b)(c)(d)的 OSTU 分割结果

Fig. 3 Segmentation results by OSTU corresponding with the first four images in Fig. 2

3.2 以区域检测为前提的优越性

在目标检测过程中,为了抑制海天线区域外不必要的噪声干扰,同时减少后续图像处理的计算量,提高算法的准确性和实时性,对原始图像进行裁剪只保留海天线区域。量化海面图像各个区域的视觉感受特征有助于判断海界限是否存在及其存在于图像中的位置,这个部分通常是其他检测海天线的方法所忽略的。就海面图像而言,海天线区域具有 2 个典型特征,一个是该区域包含有贯穿整个视野的信息量,具备一定的复杂度;另一个是整个图像中该区域邻接天空的邻域与其邻接海面的邻域之平均灰度差最显著,这点是针对去高亮度区域之后的海面图像而言。

为了便于快速处理,首先将采集的彩色图像转化为灰度图像。已知原始图像大小为 $M \times N$,沿着列方向将该图像 $F(x, y)$ 平均分割为 T ($T > 3$) 幅子图像 f_1, f_2, \dots, f_t , 每幅子图像的尺寸皆为 $A \times N$ ($A = M/T$)。规定每相邻 3 幅子图像 (f_{i-1}, f_i, f_{i+1}), ($1 < i < t$) 组成一个单元区域,每个单元区域的视觉感受特征量化指标 $M(f_{i-1}, f_i, f_{i+1})$ 由两部分因素构成,中间子图像 f_i 的复杂度和与之相邻的上下子图像 f_{i-1}, f_{i+1} 间的灰度差异。

(1) 灰度均值能够直接体现子图像的整体灰白程度,而且使用灰度均值之差来表示相邻子图像之间的灰度差异简单易行,其形式为:

$$\Delta G(f_{i-1}, f_{i+1}) = G(f_{i-1}) - G(f_{i+1}), \quad (1)$$

其中, $G(f_{i-1})$ 与 $G(f_{i+1})$ 分别为子图像 f_{i-1} 和子图像 f_{i+1} 的平均灰度。

(2) 信息熵是信息内容度量的标准,可以有效地衡量全局或局部信息内容的丰富程度^[11]。基本上熵值越大对应区域的灰度种类越多变化越剧烈,包含的信息量越大^[12]。使用这一概念来表示海面子图像的复杂度,对于具有 256 个灰度级的子图像,设 p_s 是子图像 f_i 中灰度值 s 出现的概率,其图像信息熵形式为:

$$H(f_i) = - \sum_{s=0}^{255} p_s \cdot \log_2 p_s, \quad (2)$$

当 $p_s = 0$ 时, $p_s \cdot \log_2 p_s = 0$ 。其中, $0 \leq p_s \leq 1$ ($s = 0, 1, \dots, 255$); $\sum_{s=0}^{255} p_s = 1$ 。

(3) 将量化指标 $M(f_{i-1}, f_i, f_{i+1})$ 表示为:

$$M(f_{i-1}, f_i, f_{i+1}) = \Delta G(f_{i-1}, f_{i+1}) \times H(f_i), \quad (3)$$

当中间子图像的熵值越大,而且相邻上下子图像间的灰度均值之差越大时,这个单元区域的特性越接近于海天区域,它属于海天区域的可能性就越大。

计算各个单元区域的指标 $M(f_{i-1}, f_i, f_{i+1})$, 找出最大值 M_{\max} , 假设 M_{\max} 对应的单元区域为 (f_{m-1}, f_m, f_{m+1}) , 依据该单元区域的上相邻子图像与下相邻子图像的灰度之差 ξ 来验证图像中是否存在海天区域。衡量 ξ 的计算公式为:

$$\xi = G_{(m-2)} - G_{(m+2)}, \quad (4)$$

当 $m-2 < 0$ 或 $m+2 > T$ 时, 则 $G_{(m-2)}$ 或 $G_{(m+2)}$ 由 $G_{(m-1)}$ 或 $G_{(m+1)}$ 来代替。由对 N 组海面图像的处理经验, 设置该阈值为 M_ξ , 若 $\xi < M_\xi$, 则不存在海界限区域。反之, M_{\max} 对应的单元区域即为海天区域。

4 滤波聚类分割目标

对海天区域采取首先进行滤波以平滑图像, 再作聚类进行目标提取的策略, 是受 Mean-Shift 分割算法的启示。海面背景与天空背景占图像的大面积区域, 表明两者在空间特征上具备聚类的优势, 而且从图像上看出在颜色特征上两者也有相似性, 这正符合 Mean-Shift 分割的使用环境, 只要合理地调整参数, 必定会得到简洁精确的前景分割结果。

然而该方法在实时性上存在较大的缺陷, 不利于海面序列图像的快速目标检测, 但是这种优秀的理念值得借鉴。Mean-Shift 分割算法由两部分组成: Mean-Shift 滤波和区域聚类。其耗时处理主要体现在 Mean-Shift 滤波的过程以及视滤波结果而定的区域聚类, 如果滤波后图像的灰度种类相对较少, 那么区域聚类就会很快, 反之, 则计算量呈非线性增长。

为了满足图像处理的实时性, 将 Mean-Shift 滤波由周围纹理抑制滤波代替, 在海面图像自身优势的条件下, 通过控制滤波参数, 可以为快速区域聚类提供良好的平滑图像, 同时分割区域不会受到影响。

4.1 周围纹理抑制滤波

纹理抑制 (surround suppression) 概念是由 Grigorescu 等^[13]人提出的, 主要用来消除 Canny 边缘算子所带来的轮廓内部纹理产生的无意义边

缘。原理是将图像梯度与权重函数进行卷积, 得到每个像素点的周围加权抑制因素, 从原梯度中减去抑制部分, 则可以得到人眼希望保留的部分, 突出感兴趣的边缘。这里尝试将其用于图像滤波, 当一个像素的灰度与它周围的灰度有差异时, 就对其予以抑制, 这样可以在一定程度上平滑图像噪声, 对于海天区域来说, 将图像灰度与权重函数进行卷积以平滑背景。

定义权重函数 w_σ :

$$w_\sigma = \frac{H(DoG_\sigma(x, y))}{\|H(DoG_\sigma)\|_1}, \quad (5)$$

$$DoG_\sigma(x, y) = g_{1\sigma}(x, y) - g_\sigma(x, y), \quad (6)$$

$$H(z) = \begin{cases} 0, & z < 0 \\ z, & z \geq 0 \end{cases}, \quad (7)$$

式(5)中的 $\|\cdot\|_1$ 为 L_1 范数。

图 4 为 $\sigma=1$ 时, w_σ 的变化趋势^[14]。图 5 为图 4 对应的具备抑制作用的环形区域。半径为 r_1 的圆内, $DoG_\sigma(x, y) < 0$, 权重 w_σ 为 0, 即这个邻域对中心灰度没有影响。半径为 r_2 的圆外, $DoG_\sigma(x, y)$ 微乎其微, 工程上不考虑它的贡献, 所以该点的灰度值为这个圆环邻域的加权平均。一般地, $r_1 \approx 2\sigma$, $r_2 = 4r_1$ 。不同于常规的中值滤波以及高斯滤波等, 这种纹理抑制方法对图像的平滑更符合人眼视觉感受。假设噪声镶嵌在非噪声中, 那么利用合适距离内的非噪声区域来同化噪声区域, 以得到平滑的非噪声区域。如图 6 所示, 背景中噪声区域可以得到很好的抑制, 同样目标中的噪声区域也可以得到很好的抑制。 σ 越大, 平滑噪声的尺度越大, 由于海天区域内的目标均比较小, σ 取较小为宜。

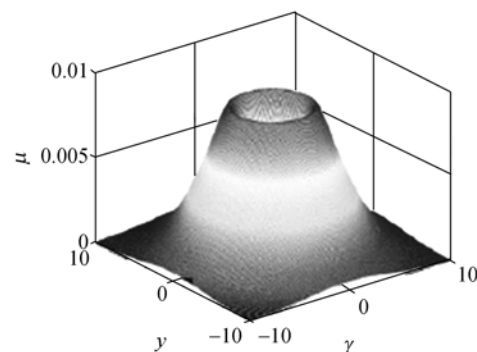


图 4 权重函数

Fig. 4 Weight function

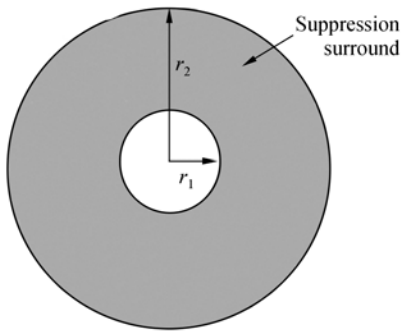


图 5 抑制作用的环形区域

Fig. 5 Suppression surround ring

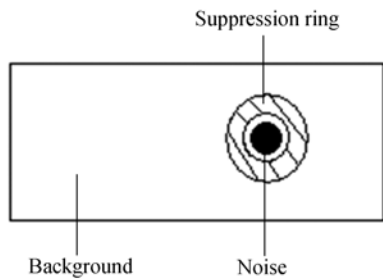


图 6 背景平滑示例

Fig. 6 Background smoothing

4.2 颜色空间变换

聚类之前先对图像的色彩空间进行预处理。为了获得有意义的分割结果,可感受到的颜色差异应该与表示特征空间里的 Euclidean 距离相对应^[15]。Luv 是专门设计用来与视觉保持近似一致性的色彩空间,以数字化方式来量测人们的视觉感应,能使图像处理更好地达到人眼所需要的结果。可用如下方法将图像灰度空间转换到 Luv 空间^[16]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \leftarrow \begin{bmatrix} 0.412 & 453, & 0.357 & 580, & 0.180 & 423 \\ 0.212 & 671, & 0.715 & 160, & 0.072 & 169 \\ 0.019 & 334, & 0.119 & 193, & 0.950 & 227 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$L = \begin{cases} 116 \times \left[\frac{Y}{255} \right]^{1/3} - 16, & \left[\frac{Y}{255} \right] > 0.008 \ 856 \\ 903.3 \times \left[\frac{Y}{255} \right], & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (9)$$

令 $\text{cons} = X + 15 \times Y + 3 \times Z$,

If $\text{cons} \neq 0$,

$$u = (4 \times X) / \text{cons}, v = (9 \times Y) / \text{cons}, \quad (10)$$

Else,

$$u = 4.0, v = 9.0 / 15.0, \quad (11)$$

图像中两类之间的 Euclidean 距离按照以下公式计算:

$$E = (L_1 - L_2)^2 + (u_1 - u_2)^2 + (v_1 - v_2)^2, \quad (12)$$

对于彩色图像,Luv 空间即为 RGB 空间的直接非线性变换;对于灰度图像, $R = G = B$ 同为像素灰度值。在聚类过程中,判断像素或区域是否属于同一类,均是在 Luv 色彩空间的范畴内来衡量。

4.3 聚类并二值化图像

聚类是实现海面目标与海天背景分离的核心步骤。经过周围纹理抑制滤波后,背景中有许多相近的像素点。首先以像素点为单位,按照相似准则对其进行粗分割,然后以初步聚类得到的点集为单位,根据 Luv 色彩空间的 Euclidean 距离对其进行细分割。最后通过限制最小区域面积去除琐碎的小区域。步骤如下^[17]:

(1)对平滑图像中的每一个像素点 x_i ,按照八邻域区域生长的方式进行扫描,合并满足相似准则的点,标记其所属类 z_j 。

(2)比较各类与类之间的相近程度,依据色彩空间的距离阈值 E_δ ,将邻近的区域融合成同一类 $\{C_p\}_{p=1 \dots m}$,并更新类别。

(3)每一类代表一个区域,判断所有区域的大小,若区域面积少于 M ,将该区域归入与其特征最接近的区域。

聚类的时间消耗取决于图像的平滑程度,而结果的满意度取决于 E_δ 和 M 。 E_δ 较大时,会导致将两个不同性质的区域归于一类; E_δ 较小时,会出现将同一性质的区域分出好几个类别。对于海面目标检测来讲,要准确检测到水天线附近的弱小目标, M 起着较为重要的作用,过大可能将目标淹没于背景之中,过小可能会出现伪目标干扰判断。

之所以进行粗分割和细分割,是因为粗分割可以很快地将相似的像素点归类,但是由于区域生长的结果使得归类的点集比较分散,为了让所有的点集具有区域一致性,再次使用细分割对分散的点集进行聚类,这样能达到快速精确的分割效果。按照先验知识,面积最大的类常常囊括了天空和海面背景,所以由此来二值化图像,将最大

的区域灰度设置为黑,其余区域设置为白,即完成了目标分割。

5 试验结果

为了验证文中提出方法的有效性,对某型艇在海面采集的可见光视频进行图像处理,原始图像大小为 352×288 ,序列共 200 帧,当背景为纯天空和纯海面时,排除率达到了 100%,对于包含海天线区域的图像,本文算法的目标识别率在 90% 以上。由于篇幅的限制,只取其中较为典型的复杂海面图像进行结果展示,即图 2 中的图像。首先去除高亮度区域,然后粗检海天线区域,如无海天线区域,则不继续后续检测;反之,定位海天线区域,接着对海天线区域进行周围纹理抑制滤波和聚类,精细提取目标。

取 $T=12, M_e=20$ 。由于图像最下面的单元容易受到水面艇自身首部及其运动产生强波浪的影响,所以将其排除,不参与竞争海天线区域。图 2(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f) 对应的海天线区域预检结果见图 7,图 7(e)、(f) 均不包含海天线区域,图 7(a)、(b)、(c)、(d) 中的两条白线之间即为得到的区域。相应的指标如表 1。

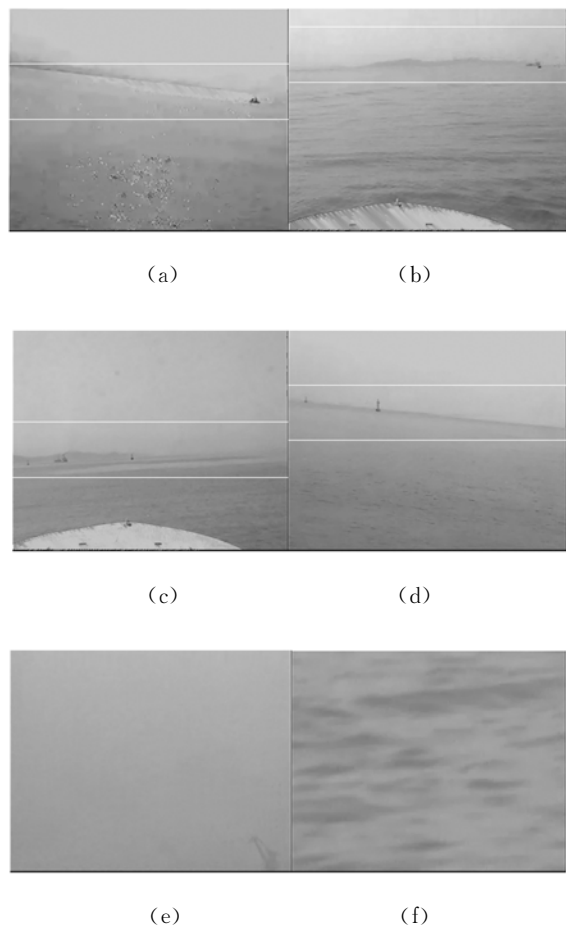


图 7 海界限检测结果

Fig. 7 Sea line range detection results

表 1 图像由上至下单元区域的指标 M 与 M_{\max} 上下子图像的灰度差 ΔG

Tab. 1 M from top to bottom and ΔG of M_{\max} for images in Fig. 6

| 图 6 | M_1 | M_2 | M_3 | M_4 | M_5 | M_6 | M_7 | M_8 | M_9 | ΔG |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| a | 4.08 | 31.7 | 73.5 | 89.1 | 88.2 | 67.7 | 87.9 | 89.0 | 54.6 | 34 |
| b | 94.9 | 175.5 | 117.0 | 61.2 | 78.1 | 75.6 | 80.5 | 68.2 | 78.0 | 42 |
| c | -4.47 | 4.56 | 13.7 | 37.6 | 97.2 | 172.8 | 144.4 | 53.5 | -18.8 | 47 |
| d | 7.80 | 32.9 | 88.1 | 116.7 | 91.7 | 92.8 | 80.8 | 70.7 | 40.2 | 40 |
| e | 17.2 | 12.1 | 13.9 | 17.0 | 16.5 | 13.8 | 10.1 | 10.7 | 14.9 | 8 |
| f | 66.2 | 15.1 | -34.4 | 0 | 4.90 | 0 | 9.43 | -9.6 | -18.3 | 8 |

观察 N 组序列图像,在周围纹理抑制过程中,取 $\sigma=0.125$ 。在聚类过程中,取 $E_s=0.25$ 和 $M=10$ 。图 7(a)、(b)、(c)、(d) 海天线区域相应的滤波和聚类二值化的结果如图 8 和图 9 所示。图像中海天线区域的弱小目标被清晰地提取出

来。实验平台为 Pentium IV 处理器,1 G 内存,软件平台为 WindowsXP 操作系统,Visual C++ 6.0 编辑器。海天线区域预测平均花费时间为不到 1 ms,周围纹理抑制滤波与聚类平均花费时间为 35 ms,一般来说,海面图像单帧处理时间在

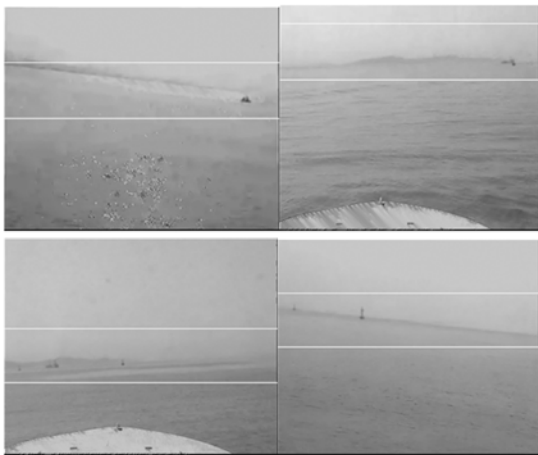


图 8 滤波结果

Fig. 8 Filter results of the first four images in Fig. 7

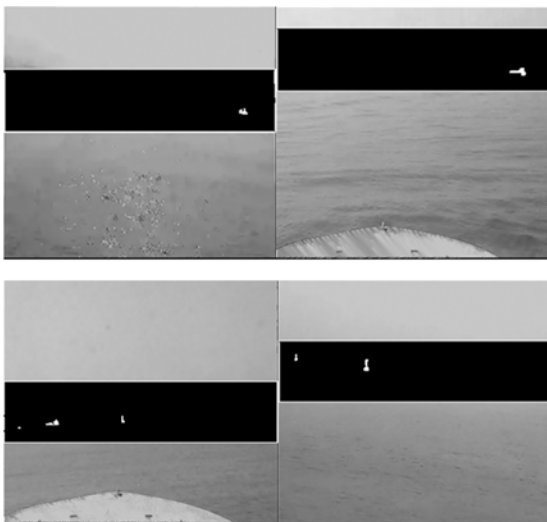


图 9 分割结果

Fig. 9 Segmentation results of the first four images in Fig. 7

参考文献:

- [1] SUMIMOTO T, KURAMOTO K. Detection of a particular object from environmental images under various conditions [C]. *ISIE' 2000, Cholula, Puebla, Mexico*; 590-595.
- [2] HAARST T, VINCENT A, GROEN F. Color as an attribute for automated detection in maritime environments [C]. *Proceeding of 12th International Conference on Information Fusion, Seattle, WA, USA, 2009*; 1679-1686.
- [3] 李欣, 赵亦工, 陈冰, 等. 基于模糊分类的弱小目标检测方法 [J]. *光学 精密工程*, 2009, 17(9): 2311-2319.
- [4] LI X, ZHAO Y G, CHEN B, *et al.*. Approach to dim and small target detection based on fuzzy classification [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(9): 2311-2319. (in Chinese)
- [4] 曹琦, 王德江, 张齐, 等. 红外点目标检测中的能量

100 ms 以内, 可以满足系统的实时性要求。可见在水面载体正常运动过程中, 对于复杂海空背景图像, 该方法不仅可以自动为弱小目标检测任务快速地提供准确的信息, 还为其预留了可观的时间资源以应付后续的跟踪或识别任务。

6 结 论

针对海面运动载体可见光序列图像, 紧密结合复杂海空背景图像的特点, 提出了一种不以检测海天线为前提的远处弱小目标检测方法。首先修复图像中被高亮度噪声损毁的部分, 如曝光区域或反光区域。接着根据海天线区域复杂度较大以及该区域上下邻域存在一定的灰度差异预测海天线区域的位置, 并摒弃不含海天线区域的图像。然后采取 Mean-shift 分割算法先滤波后聚类的策略, 继承其适应于海空背景的聚类优势, 去除其滤波过程的耗时性缺点, 使用周围纹理抑制滤波平滑海天线区域。通过将最大面积的区域与其他区域分离来二值化图像, 完成目标提取。经过实验验证, 该方法实现整个过程在 35 ms 左右, 具有很好的准确性和实时性, 对于某些工程需要提供了参考作用。不过该方法在实现过程中, 涉及到一些重要的参数, 而在海况变化多端无法预知的情况下, 如何设置更合适的参数来驾驭这种方法以适应更广泛的海面图像, 是值得研究的下一个课题。

- 累积[J]. 光学精密工程, 2010, 18(3): 741-747.
- CAO Q, WANG D J, ZHANG Q, *et al.*. Energy accumulation in infrared point target detection[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(3): 741-747. (in Chinese)
- [5] 董宇星, 刘伟宁. 基于灰度特性的海天背景小目标检测[J]. 中国光学与应用光学, 2010, 3(3): 253-256.
- DONG Y X, LIU W N. Detection of sea sky line in complicated background based on grey characteristic [J]. *Chinese Journal of Optics and Applied Optics*, 2010, 3(3): 253-256. (in Chinese)
- [6] 黄英东, 范宁军, 李杰. 一种基于海天线检测的舰船定位方法[J]. 火箭与制导学报, 2008, 28(5): 286-288.
- HUANG Y D, FAN N J, LI J. A method of ship position based on sea-sky line detection[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2008, 28(5): 286-288. (in Chinese)
- [7] SERGIY F, DMITRY G. Detection and tracking of marine vehicles in video[J]. *IEEE*, 2008, 12: 1-4.
- [8] SANTHALIA G K, NITIN S, SANATYA S. A method to extract future warships in complex sea-sky background which may be virtually invisible [C]. *2009 Third Asia International Conference on Modelling & Simulation*, 2009: 533-539.
- [9] 裴继红, 谢维信, 刘上乾. 用模糊数学方法识别舰船红外成像目标[J]. 红外与毫米波学报, 1995(4): 93-100.
- PEI J H, XIE W X, LIU S Q. Recognition of infrared imaging target of ship with the fuzzy algorithm [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 1995, 14(2): 93-100. (in Chinese)
- [10] 张兆伟, 马治国, 钱超, 等. 红外图像中海天线的提取[J]. 海军工程大学学报, 2005(2): 97-99.
- ZHANG ZH W, MA ZH G, QIAN CH, *et al.*. Locating horizontal region of infrared image[J]. *Journal of Naval University of Engineering*, 2005(2): 97-99. (in Chinese)
- [11] 许元男, 赵远, 刘丽萍, 等. 应用 Renyi 熵的显著图生成与目标探测[J]. 光学精密工程, 2010, 18(3): 724-731.
- XU Y N, ZHAO Y, LIU L P, *et al.*. Renyi entropy-based saliency map generation and target detection[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(3): 724-731. (in Chinese)
- [12] 杨波, 徐光佑. 纹理相似性度量研究及基于纹理特征的图像检索[J]. 自动化学报, 2004, 30(6): 991-998.
- YANG B, XU G Y. Similarity measurement and retrieval of texture images[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2004, 30(6): 991-998. (in Chinese)
- [13] COSMIN G, NICOLAI P, MICHEL A. Westenberg Contour and boundary detection improved by surround suppression of texture edges[J]. *Image and Vision Computing*, 2004, 22: 609-622.
- [14] GUO S, PRIDMORE T, KONG Y, *et al.*. An improved hough transform voting scheme utilizing surround suppression [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2009, 30: 1241-1252.
- [15] DORIN C, PETER M. Mean Shift: a robust approach toward feature space analysis[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(5): 603-619.
- [16] RAY H. Texture-boundary detection in real-time [D]. *University of Canterbury*, 2010: 75-76.
- [17] TAO X, IKER G. An objective evaluation of the Mean Shift-based image segmentation algorithm [C]. *Proceedings of IPCV, Las Vegas Nevada, USA*, 2008: 205-211.

作者简介:



曾文静(1985—),女,湖北荆州人,博士研究生,2006年于哈尔滨工程大学获得硕士学位,主要从事模式识别与机器视觉应用方面的研究。E-mail: zengwenjing@163.com



张铁栋(1978—),男,黑龙江哈尔滨人,博士,讲师,2009年于哈尔滨工程大学获得博士学位,主要从事水下机器人总体设计及视觉导航方面的研究。E-mail: zhangtiedong@hrbeu.edu.cn



万磊(1965—),男,黑龙江哈尔滨人,硕士,研究员,硕士生导师,1990年于哈尔滨船舶学院获得硕士学位,主要从事水下机器人运动控制与系统集成方面的研究。E-mail: wanlei@hrbeu.edu.cn

导师简介:



徐玉如(1942—),男,江苏南京人,教授,院士,博士生导师,1966年于哈尔滨军事工程学院获得学士学位,主要从事智能水下机器人技术方面的研究。E-mail: xuyuru@hrbeu.edu.cn

●下期预告

适用于恶劣环境的新型 MEMS 压阻式压力传感器

伞海生^{1,2}, 宋子军¹, 王翔¹, 赵燕立¹, 余煜玺³

(1. 厦门大学 物理与机电工程学院 机电工程系, 福建 厦门 361005;

2. 厦门大学 萨本栋微纳米技术研究院 微机电中心, 福建 厦门 361005;

3. 厦门大学 材料学院 材料科学与工程系, 福建 厦门 361005)

为了解决潮湿、酸碱、静电颗粒等恶劣环境对压力传感器压敏电阻的影响,提出了一种新型结构的压阻式压力传感器,该传感器将压敏电阻置于应力薄膜的下表面并密封在真空压力腔中。首先,介绍了此种压力传感器的工作原理,接着,使用 ANSYS 软件并结合有限元方法对压敏薄膜在压力作用时的应力分布情况进行了模拟。最后,利用微电子机械系统技术成功制作出了尺寸为 $1.5\text{ mm} \times 1.5\text{ mm} \times 500\text{ }\mu\text{m}$ 的压阻式压力传感器。经压力检测平台测试后,结果表明,该压力传感器在 $25 \sim 125\text{ }^\circ\text{C}$ 线性度小于 2.73% ,灵敏度约为 20 mV/V-MPa ,满足现代工业使用要求。