

前视红外舰船图像的模糊分割算法研究

裴继红 谢维信

(西安电子科技大学电子工程系, 陕西, 西安, 710071)

杨宜禾 刘上乾

(西安电子科技大学技术物理系, 陕西, 西安, 710071)

摘要 由分析海面舰船及其背景红外辐射特性入手, 对前视海面舰船红外图像提出了一种新的自适应阈值张弛模糊分割算法, 对目标进行图像分割. 对本文提出的算法用实际红外图像进行仿真实验, 取得令人满意的效果. 表明本算法是可行和实用的.

关键词 红外舰船成像, 特征隶属度函数, 模糊分割, 自适应阈值.

引言

在舰船目标的识别和分类中, 一个很关键的问题是提取目标的特征. 它不仅受噪声的影响, 而且也受背景的影响, 尤其在复杂背景下所受影响更大. 图像分割的目的之一就是为了更好地提取目标的特征, 有效地抑制噪声和背景对目标特征提取的影响.

1 舰船红外成像特性分析

舰船红外成像识别技术是基于目标红外辐射特性及其分布特性与背景特性的差异而工作的. 因此, 对海面环境中的红外辐射特性进行分析, 有助于找出分割的方法和识别的特征.

红外辐射源包括太阳、天空(对阳光的散射和天空自身的辐射)、云、海岛、陆地和舰船目标等等. 现仅就成像中与分割目标有关的因素进行讨论.

目标舰船有两个主要的辐射源, 一是 $30\sim 90^{\circ}\text{C}$ 的烟囱, 另一个是舰船的上层建筑, 其红外辐射峰值波长均在 $8\sim 14\mu\text{m}$, 处于大气红外辐射窗口之中.

太阳辐射主要靠大气散射进入探测器, 本文不考虑太阳直射进入探测器的情况, 由于太阳在 $8\sim 14\mu\text{m}$ 波段辐射很小, 且其辐射进入探测器的能量可以看成是均匀的, 故对成像识别系统影响不大.

天空的辐射主要是自身辐射和散射太阳光. 从提供的红外图上分析, 天空背景从高到低

逐渐变亮,在图像最上部最暗,在接近海天天线时,天空背景最亮.天空背景相对来说在行方向上较均匀.天空背景由上到下逐渐变亮的原因,主要是:随着仰角的减小,进入探测器的有效辐射量逐渐增加.这一特点有助于海天天线的提取.

海面背景的红外成像特性正好与天空背景相反.即越靠近海天天线,传感器接受到的能量越少,表现为图像灰度越小.造成这种现象的主要原因是:越靠近海天天线,距离成像平台越远,海面反射的红外能量到达探测器时就衰减得越多.海背景由于海浪的起伏,使得所成的红外图像灰度起伏较大.但从整体来看,海面的辐射(和反射)比天空小得多.

天空中的云从资料分析,距离海天天线越近,成像整体呈现越亮的趋势.但云的辐射比天空强得多,特别是在海天天线上的低空云带,其辐射很强,亮度可以和目标舰体(不包括目标中的高亮区)相比拟,是图像分割和识别过程中较强的一类干扰.

海岛和陆地的红外辐射特性表现在图像中与低空云相似.海岛与陆地相比,辐射较均匀.陆地上由于有建筑物、工厂、某些自然地表辐射强,表现在图像中,除呈现亮带特征外,在亮带中还有亮斑,有时亮斑可以和目标高亮区相比拟.

综上所述,海面舰船红外成像(远距离平视)图像,在只有天空背景,且天空背景中没有低空云带的情况下,天空背景是比较均匀的,亮度变化是缓慢的.在较晴朗的天气下,由于大气衰减减小,海背景与天空背景对比度较大,但海背景中的灰度起伏也较大;在阴天,由于大气衰减大,海背景与天空背景对比度较小,但海背景中的灰度起伏也较小.若海天天线上出现有舰船目标,前者轮廓比较清晰,而后者比较模糊,但两种情况下目标中都有高亮区.在天空背景中有亮带(低空云带、陆地、大的海岛等等)的情况下,由于亮带的辐射强度可以和船体相比拟,在亮带背景中目标的轮廓是模糊的,而且亮带中的最亮区在某些情况下可以和舰船目标中的高亮区(锅炉、烟囱等)相比拟.

基于图像辐射特性分析和分割算法的考虑,本文对成像的附加要求是:

(1)图像中必须存在有海天天线,也就是说,背景图不能只有天空或者只有海水.

(2)允许图像中海天线倾斜,但是对倾斜度有一个最低要求:在图像中最左列和最右列中都应该有海天天线.

由于目标一般是大型军用舰船,且距成像平台较远,成像平台处于海面平视状态.故在图像中若有目标,则肯定处于海天天线背景中.目标不可能脱离海天天线完全处于海背景中,也不可能处于远离海天天线的天空背景中.因此,海天天线的测定是确定目标出现区域的有效途径,海天天线的准确测定,不但对分割图像和识别目标极为有用,而且对系统的稳定跟踪有很大实际意义.

2 目标搜索与图像分割

前视红外成像目标是舰船.基于这一特点,本文采用一种自适应阈值张弛模糊分割技术分割目标图像.主要步骤见图1.

图像分割的目的是为了能更好地提取目标特征、有效地抑制噪声和背景对目标特征提取的影响.为了有效地对目标进行分割,同时考虑到系统实时性要求,在分割以前首先要对图像进行预处理,并确定目标可能出现的图像工作区域.

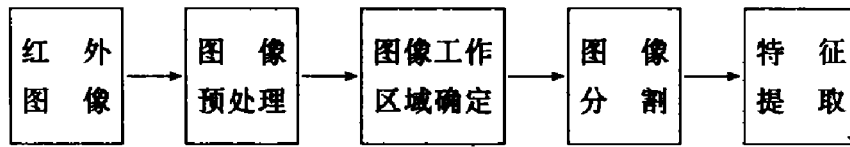


图 1 图像分割识别主要步骤

Fig. 1 Main steps of image segmentation and recognition.

2.1 图像预处理

图像预处理主要是进行图像的空域低通滤波. 为了抑制噪声, 同时尽量保持图像中的高频信息不被丢失, 就要合理地选择滤波窗口的大小. 空域中的邻域平均可以等效为低通滤波. 本文采用四邻域平均法进行低通滤波, 以便在滤除噪声的同时最大限度地保留图像中的高频信息. 该方法算法简单, 硬件实现方便.

2.2 工作区域的确定

确定感兴趣工作区域可以看成是为后续处理压缩数据量的一种方法. 其优点是减少运算量, 提高运算速度; 抑制区域外的不必要的噪声干扰; 提高目标的捕获概率.

由于采用海面平视成像, 故所成的图像一般可分为三个区域: 天空区域、海面区域和海天线区域. 目标若出现, 则一定处于海天区域之中. 因此, 本文确定感兴趣工作区域的关键就是提取图像中的海天区域. 海天区域在一般情况下不是一条直线, 而是一条亮度由高(天空)到低(海面)的渐变带, 并且通常带有一定的倾斜度, 本文将其近似看成为一条直线, 海天区域是图像中灰度变化最剧烈的区域.

我们采用直线拟合法求取海天区域. 设海天区域方程为

$$y = Ax + B. \quad (1)$$

将图像沿列方向平均分成 N 个区. 求出每个区的海天区域坐标 (x_i, y_i) , 其中 $i = 1, 2, \dots, N$. 在最小均方误差 LMS 意义下求得:

$$A = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i}{D}; \quad (2)$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N x_i y_i}{D}; \quad (3)$$

其中

$$D = N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2. \quad (4)$$

为了减小海杂波对求取海天区域的影响, 在求每个区海天区域坐标以前, 对灰度列向量 \vec{G}_k ($k = 1, 2, \dots, N$) 进行非线性运算如下: 先求出每一列的均值 \bar{g}_k , 以 \bar{g}_k 为阈值, 在像素灰度大于或等于 \bar{g}_k 时, 保持原像素灰度值; 在像素灰度小于 \bar{g}_k 时, 令该像素灰度值等于 \bar{g}_k .

通过以上非线性处理, 基本消除了海浪干扰. 天空亮条干扰是通过将 \vec{G}_k 进行平滑而消除的.

经过以上处理,在图像中存在有海天线的情况下,即可以得到正确的海天线方程(1).

一旦确定了海天线方程,将列坐标 $x_1=1, x_2=2, \dots, x_{M_C}=M_C$ 代入海天线方程(1),则可得海天线的相应行坐标 y_1, y_2, \dots, y_{M_C} . 令

$$y_{up} = \min\{(\max\{y_1, y_{M_C}\} + d_{up}), M_L\}; \quad (5)$$

$$y_{down} = \max\{(\min\{y_1, y_{M_C}\} - d_{down}), 1\}; \quad (6)$$

式(5)、(6)中, $\max\{\cdot, \cdot\}$ 为取大函数, $\min\{\cdot, \cdot\}$ 为取小函数; M_L 为图像行数, M_C 为图像列数; d_{up}, d_{down} 是由实际图像和目标大小的先验知识确定的常数,其原则是:在目标图像尺寸最大时不溢出窗口.

取由 $(1, y_{up}), (1, y_{down}), (M_C, y_{up}), (M_C, y_{down})$ 为四个顶点的矩形窗口,此即为目标的搜索窗口,亦即图像中与分割、识别、跟踪目标有关的感兴趣的工作区域.

2.3 目标的搜索与分割

目标搜索是确定在感兴趣的工作区域中是否存在可能的目标. 图像分割主要是把可能的目标图像从背景中分离出来,以有效地抑制噪声和背景对提取目标特征的干扰.

考虑到要分割的目标图像是处于灰度变化很大的区域,并且在有干扰时舰体的灰度与背景差别不大,同时舰体中一般存在红外辐射比较强的高亮区. 故本文区域分割采用一种称为自适应阈值张弛模糊分割法. 基本思想是:根据对图像具体参数的分析算出一个图像的种子点门限 T_s , 用 T_s 对图像进行分割,找出目标区域的种子点. 然后利用这些种子点,同时考虑到区域的连通性的相似性,用模糊数学方法进行区域增长,最后得到分割区域.

2.3.1 种子点分割门限 T_s 的选取

种子点分割门限 T_s 选取的基本原则:一是所选取的种子点置信度要高;二是应能分割出足够的种子点.

本文图像的灰度直方图一般具有如下三峰形式;左边的峰为海背景,中间的峰为天空背景,右边的峰为目标. 但在一般情况下目标峰和天空峰是融合在一起的,很难从直方图分离出目标来. 尽管目标中的高亮区比天空平均要亮,但是目标中的其它区在某些条件下和天空的灰度是可以比拟的. 而且在某些干扰条件下,非目标区中会出现高亮区. 所以,仅用亮区不能确定目标,但是亮区的存在是目标存在的先决条件. 经实验及对资料图像分析,发现 T_s 不但与图像整体灰度水平有关,而且与图像的对比度有关. 为此,本文建立 T_s 模型:

$$T_s = MEAN_{s,y} + F \times STD_{s,y} \quad (7)$$

其中

$$F = C \left(1 - \frac{1}{ADbits}\right)^r \left(1 - \frac{MEAN_{all}}{MEAN_{s,y}}\right) \left(\frac{ssmline}{linesize}\right) \quad (8)$$

$MEAN_{s,y}$ 为天空灰度均值; $STD_{s,y}$ 为天空灰度方差; $\left(1 - \frac{1}{ADbits}\right)^r$ 为图像降质因子,它是与图像整体灰度水平有关的量; $ADbits$ 为图像中最大灰度值占的二进制字节比特数; r 是一个由实验确定的因子; $\left(1 - \frac{MEAN_{all}}{MEAN_{s,y}}\right)$ 为图像对比度的一种表征,其中, $MEAN_{all}$ 是图像整体

灰度均值,一般情况下, $MEAN_{a11} < MEAN_{sky}$, 并假设海天线近似在图像中心; $(\frac{ssmline}{linesize})$ 是对由于海天线偏离图像中心时造成的图像对比度偏差的一种修正, 其中 $ssmline$ 是海天线在图像最中间的一列的行坐标, $linesize$ 是图像的总行数; C 是由实验确定的一个常数.

从 T_i 的表达式可以看出, T_i 是一个全局自适应阈值. 在理想情况下, 假设海面灰度值为 0, 海天线位于图像中心、图像中最大灰度 > 128 , 此时:

$$ssmline = linesize / 2, \quad Adbits = 8,$$

$$MEAN_{a11} = MEAN_{sky} / 2,$$

$$\text{则} \quad T_i = MEAN_{sky} + \frac{C}{4} \left(\frac{7}{8}\right)^r STD_{sky} \quad (9)$$

$$\text{令} \quad r = 2, \quad C = 16;$$

$$\text{可得} \quad T_i = MEAN_{sky} + \frac{49}{16} STD_{sky} \approx MEAN_{sky} + 3STD_{sky} \quad (10)$$

设天空灰度呈高斯分布, 则将天空背景像素误分为目标种子点的概率为

$$P_e = 1 - \int_{-\infty}^{m+3\sigma} P_s(x) dx, \quad (11)$$

由概率积分表可查得此时的误警率为

$$P_e = 1 - 0.99865 = 0.135\%. \quad (12)$$

在实际的图像中, 由于以上条件并不能完全满足, 且天空的实际灰度分布函数也不完全是高斯型的. 故实际的误警率与 P_e 存有偏差.

种子点分割时的漏警率, 一方面受目标图像灰度分布的限制, 另外还受天空灰度分布的限制. 种子点分割时的漏警率可以通过目标的高亮区辐射强度及天空背景的辐射强度算出.

用以上得到的 T_i 对实际图像进行分割, 可获得较好的效果.

2.3.2 区域增长

经 T_i 分割后要想得到比较完整的目标形状, 还必须进行区域增长. 如果采用简单门限的方法, 则易误分. 由于模糊性的存在, 本文采用了模糊区域增长技术, 利用模糊定义算法对分割目标区进行区域增长.

模糊定义算法的关键是要对目标区进行模糊语言描述, 同时要把这些模糊语言转变为机器能识别的语言. 对目标区域增长的模糊语言量描述如下:

- (1) 区域增长点的灰度应尽量接近种子点灰度, 且应大于天空灰度均值.
- (2) 区域增长点离种子点的距离越近, 是目标点的可能性越大.
- (3) 区域增长点离海天线的距离越近, 是目标点的可能性越大. 在海天线以下, 灰度接近种子点的中间点比海天线上类似点是目标点的可能性大.

根据以上三个条件分别构成相应的隶属函数:

对条件(1): 若 $g_{ij} \geq T_i$,

$$\mu_A = 1; \quad (13)$$

若 $MEAN_{sky} \leq g_{ij} \leq T_1$,

$$\mu_A = \frac{g_{ij} - MEAN_{sky}}{T_1 - MEAN_{sky}}; \quad (14)$$

若 $g_{ij} \leq MEAN_{sky}$,

$$\mu_A = 0 \quad (15)$$

对条件(2):若 $x \leq T_1$,

$$\mu_B = 1; \quad (16)$$

若 $T_1 \leq x \leq T_2$,

$$\mu_B = \frac{T_2 - x}{T_2 - T_1}; \quad (17)$$

若 $x \geq T_2$,

$$\mu_B = 0; \quad (18)$$

在式(16)~式(18)中, x 是区域增长的像素与最近的种子点之间的距离,其中 $0 \leq T_1 \leq T_2$; T_1, T_2 是由先验知识和实验确定的值.

对条件(3):在海天线以上的情况,若 $g_{ij} \leq MEAN_{sky}$,

$$\mu_C = 0; \quad (19)$$

若 $g_{ij} \geq MEAN_{sky}, x \leq T_{1s}$,

$$\mu_C = 1; \quad (20)$$

若 $T_{1s} \leq x \leq T_{2s}$,

$$\mu_C = \frac{T_{2s} - x}{T_{2s} - T_{1s}}; \quad (21)$$

若 $x \geq T_{2s}$,

$$\mu_C = 0; \quad (22)$$

在海天线以下的情况,若 $g_{ij} \leq MEAN_{sky}$,

$$\mu_C = 0; \quad (23)$$

若 $G_{ij} \geq MEAN_{sky}; x \leq T_{1h}$,

$$\mu_C = 1; \quad (24)$$

若 $T_{1h} \leq x \leq T_{2h}$,

$$\mu_C = \frac{T_{2h} - x}{T_{2h} - T_{1h}}; \quad (25)$$

若 $x \geq T_{2h}$,

$$\mu_C = 0; \quad (26)$$

其中:在式(19)~(26)中, x 是区域增长的像素与海天线之间的绝对距离;在式(19)~式(22)中, $0 \leq T_{1s} \leq T_{2s}$;在式(23)~(26)中, $0 \leq T_{1h} \leq T_{2h}$; $T_{1s}, T_{2s}, T_{1h}, T_{2h}$ 是由先验知识和实验确定的值,一般 $T_{2s} - T_{1s} < T_{2h} - T_{1h}$.

由以上三个隶属度函数构造出区域增长的隶属度函数为

$$\mu_c = (\mu_A \cdot \mu_B \cdot \mu_C)^{1/2} \quad (27)$$

根据 μ_c 进行区域增长.由这样得到的分割区域在一般情况下连通性比较差,为了增强同一区域的连通性,消除孤立的噪声点,对经过模糊增长的区域进行连通和收缩-膨胀处理.由于目标图像是舰船,一般较长,故在水平和垂直方向上采用不同的连通算子.

在经过连通处理后,目标区域基本上被连通了.但还不能用于提取图像特征.因为图像中可能不止有一个连通区域.为了提取目标特征,还要区分这些单独的连通区域.一般用图像区域标注方法来区分单独的连通区域.本文采用列优先类型合并标注算法进行区域标注.

3 结语及计算机仿真结果

本文进行计算机仿真的图像数据,是从实际摄取的某一舰船海面红外图像录像带上采集的.我们从原始录像带上采集了7个场景共498幅 256×128 像素的红外图像,其中包括单目标和多目标图像,目标在不同侧面和不同距离的图像,目标在几种不同背景下的图像,以及只有背景没有目标的图像.

用本文的分割算法对以上498幅 256×128 的图像进行分割.分割处理的结果是:在海面没有目标时,算法一般给出没有目标的标志;在有目标(单目标或多目标)时,算法能正确分割出目标;在复杂背景下分割时,在分割出目标的同时,在某些情况下还会分割出一部分背景.

图2和图3是用本文算法对实际采集到的舰船红外图像进行分割处理的结果.其中每

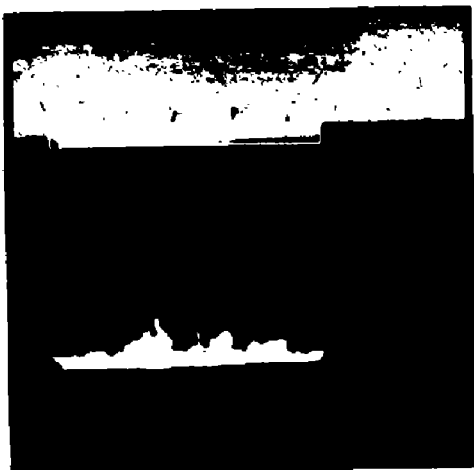


图2 单目标图像
Fig. 2 Single-target image

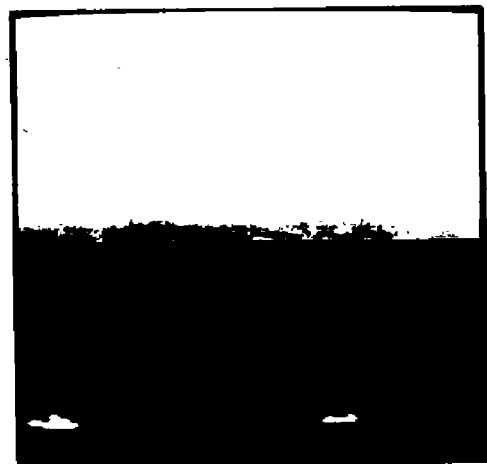


图3 多目标图像
Fig. 3 Two-target image

幅图像上半部分是原图,下半部分是分割的结果.在原图中的高亮方框是进行标注以后所有可能的目标所处的区域.

参考文献

- 1 杨宜禾,周维真. *成像跟踪技术导论*,西安:西安电子科技大学出版社,1991
- 2 谢维信. *工程模糊数学方法*,西安:西安电子科技大学出版社,1991
- 3 蔡元龙. *模式识别*,西安:西北电讯工程学院出版社,1986
- 4 裴继红. *海面舰船红外成像目标的实时识别与跟踪*,西安:西安电子科技大学硕士论文,1994
- 5 Mohanty N C. Image Enhancement and Recognition of Moving Ship in Cluttered Background, In: sponsored by IEEE C. Processings, Pattern Recognition and Image Peocessing, IEEE Computer Society Conference on (PRIP' 82), HELD June 14-17, 1982 in Las Vegas, NV; LC 82-80366, 82CH1761-6, PRIP, 1982, PP. 135-140
- 6 Strickland R N, Gerber M R. *Optical Engineering*, 1986, **25**(8):995-1000
- 7 Mao Zuhua. *Optical Engineering*, 1988, **27**(7):541-549
- 8 荆仁杰,叶秀清,徐胜荣,等. *计算机图像处理*,杭州:浙江大学出版社,1991
- 9 徐建华. *图像处理与分析*,北京:科学出版社,1992
- 10 汪培庄. *模糊集合论及其应用*,上海:上海科学技术出版社,1983
- 11 郭桂蓉,陈学敏. *系统工程与电子技术*, 1988, (1):23-33

STUDY OF FUZZY SEGMENTING ALGORITHM OF SHIP IMAGING TARGET BY FORWARD-LOOKING INFRARED TECHNIQUE

Pei Jihong Xie Weixin

(Department of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Yang Yihe Liu Shangqian

(Department of Technical Physics, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract A new segmenting algorithm for forward-looking ship infrared imaging target is presented by analyzing infrared ship imaging characteristics. It segments targets with the adaptive threshold relaxation fuzzy segmenting technique. The method is emulated with a software using practical infrared ship images, and its reality and practicality proved.

Key words infrared ship imaging, feature membership function, fuzzy segmentation, adaptive threshold.