

用模糊数学方法识别舰船红外成像目标

裴继红 谢维信

(西安电子科技大学电子工程系, 陕西, 西安, 710071)

刘上乾 杨宜禾

(西安电子科技大学技术物理系, 陕西, 西安, 710071)

摘要 从分析成像特性入手, 提出了3类识别特征(位置特征、形状特征和辐射特征), 以及描述这3类特征的6个模糊隶属度函数. 用这6个模糊隶属度函数, 采用模糊综合评判技术, 对前视船红外成像目标进行识别, 并用采集的实际舰船红外图像进行仿真实验, 其结果证明本文算法是可行的和实用的.

关键词 红外舰船成像, 特征隶属度函数, 模糊识别, 综合评判.

引言

舰船目标识别, 近年来引起了广泛的重视, 其研究并且已取得不少突破性的进展; 研究的手段: 一是利用雷达技术进行识别; 二是利用红外成像技术进行识别. 雷达技术的高速发展, 特别是高分辨率雷达、逆合成孔径雷达、非相干雷达等先进技术的问世, 极大地推动了这一领域的研究. 但由于雷达需要发射信号, 然后接收回波, 这样在目标搜索识别过程中易暴露自己, 且雷达还易受电磁干扰, 分辨率低; 而红外成像识别技术灵敏度高、空间分辨率高、隐蔽性好, 特别适合探测弱目标和鉴别多目标的需要, 同时它能在各种复杂的人为干扰和自然背景干扰条件下, 实现对目标的自动识别和命中点选择. 因此, 基于红外成像识别技术的红外成像制导技术代表了当前精确制导技术发展的主流, 1991年的海湾战争充分显示了红外成像制导武器的功能和威力. 随着VLSI技术的高速发展和红外焦平面阵列的出现, 高分辨率的红外成像已成为可能, 为红外成像识别技术的进一步发展奠定了基础. 由于采用成像识别技术, 利用目标的红外辐射特性形成的热图对目标进行识别, 提高了目标正确识别的概率, 抗干扰能力也随之提高, 并且由于舰船通常有两个主要辐射源, 一个是 $30\sim 90^{\circ}\text{C}$ 的烟囱, 另一个是上层的各种装备和结构; 其红外辐射峰值波长均在 $8\sim 14\mu\text{m}$, 正好是大气红外窗口, 所以用红外成像识别技术进行舰船目标的识别跟踪是一个极为重要的发展方向.

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, 将有助于找出识别特征, 将舰船目标同其它非舰船目标区别开来.

从进入传感器的红外辐射来看, 辐射源为太阳、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. 本文仅就成像中与识别目标有关的因素进行一些讨论.

对于海面舰船成像中距离红外前视图像, 在天空无云的情况下, 天空的背景是比较均匀的, 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. 若海天线上出现舰船目标, 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, 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.

由于目标一般是大型军用舰船, 且距成像平台较远, 成像平台处于海面前视状态. 故在图像中若有目标, 则肯定处于海天背景中. 目标不可能脱离海天背景而完全处于海背景中, 也不可能处于远离海天背景的天空背景中. 因此, 测定海天背景是确定目标出现区域的有效途径, 对分割图像和识别目标极为有用.

2 目标特征的提取与识别

作者采用一种自适应阈值张弛模糊分割技术分割目标图像, 然后在分割的图像区域中提取目标特征进行目标识别. 图像分割识别的主要步骤如图 1 所示. 由于篇幅所限, 本文仅讨论图像的识别.

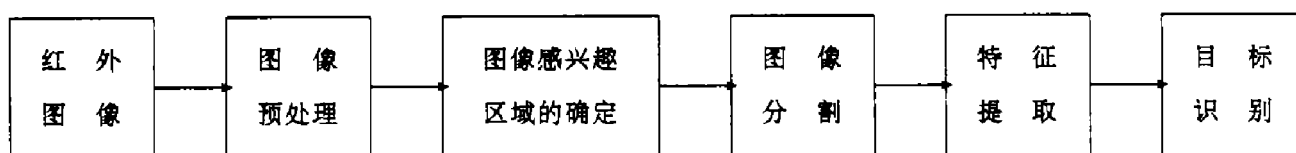


图 1 图像分割识别的主要步骤

Fig. 1 Main steps of image segmentation and recognition

图像识别实际上是一个分类过程, 分类的依据是图像中提出的各种特征信息. 图像识别的关键一是选取图像特征, 二是选择分类的方法和准则. 特征的选择直接关系到识别的难易和识别的可靠性、准确性. 特征选择一般的准则是:

- (1) 充分性: 以便能对目标和非目标进行正确的识别和分类.
- (2) 必要性: 选择的特征不能太多, 太多不但运算量大, 而且易产生混淆. 另外, 特征之

间相关性要小.

(3) 易获得性:选择的特征要比较容易获得.

分类的方法很多.在参考文献[12]中给出了一种二叉树判决多级识别方法,这种方法的优点是运算和判决过程比较简单.由于判决的每个条件都得到满足,所以经识别确认目标的正确概率较高,其虚警概率比较小.但如果由于某种干扰的存在,使得其中某些条件得不到满足时,则易产生漏判,故其漏警概率比较大.

本文采用一种模糊综合评判方法.它将各特征表示为对目标集的隶属度,然后利用这些隶属度进行综合评判.它强调的是一种整体效果,故不会因为个别条件比较差而产生漏判,漏警率较小.同时在隶属度中引入了罚值,即在条件很不满足时,令隶属度加权系数 $W_i < 0$, 使该条件影响变大,使得隶属函数产生一种罚效应,同样可以使虚警率得到减小.

2.1 目标特征的选择与提取

通过对舰船红外成像的具体特点和实际红外图像的分析,我们选取以下识别特征:

(1) 位置特征:目标图像处在海天区域.这是由中距离海平面成像而决定的.目标不可能完全脱离海天而处在天空区域,或完全脱离海天处在海背景区域.这一特征主要是为了区分空中的云、陆地或海岛上的一些高辐射区的干扰.

(2) 辐射分布特征:目标中应该具有高亮区,这是因为目标中的锅炉、烟囱、上层的各种装备和结构等温度较高.由于高亮区的存在,目标区对背景均值的方差应较背景本身的方差来得大.这一特征是为了区分普通海岛的干扰.

(3) 形状特征:目标区域有一定的长宽比和占空比,同时目标区域应呈现上小下大的特性.这一特征主要是为了区分一些人为的干扰.

根据对以上三类特征的分析,结合实际图像资料,构造了以下几个隶属度函数:

2.1.1 目标位置特征

目标位置特征表征为对海天线的隶属度.隶属度函数(μ_{ss1})为:

若 $T_1 < d < 0$, 则

$$\mu_{ss1}(d) = 1 + d/T_1; \quad (1)$$

若 $0 < d < m$, 则

$$\mu_{ss1}(d) = 1; \quad (2)$$

若 $m < d < m + T_2$, 则

$$\mu_{ss1}(d) = 1 - (d - m)/T_2; \quad (3)$$

其它则

$$\mu_{ss1}(d) = 0, \quad (4)$$

式(1)~(4)中

$$d = y_i - l_{ss1m}. \quad (5)$$

式中 y_i 为紧套分割单连通区波门的底边, l_{ss1m} 为上述波门中间列处海天线的位置, m 为上述波门的行数, T_1 和 T_2 是由先验知识和实际情况确定的常数, $ss1$ 为海天线, μ_i 表示将该集合看成是一模糊集.

2.1.2 目标的辐射分布特征

目标的辐射分布特征表征为两个隶属度函数:

(1) 分割区中种子点(高亮区)数目与分割区目标总像数之比

$$R_b = (C_o - H/W)N_G/N, \quad (6)$$

式(6)中 N_G 为种子点数目, N 为分割区目标总像素数, H/W 为分割区的高宽比, C_o 为实验中确定的常数, $(C_o - H/W)$ 为对舰船目标不同侧面的加权补偿因子, 其隶属度函数为:

若 $R_b < 0$, 则

$$\mu_{Rb} = 0; \quad (7)$$

若 $0 \leq R_b < T_b$, 则

$$\mu_{Rb} = R_b^{1/2}; \quad (8)$$

若 $R_b \geq 1$, 则

$$\mu_{Rb} = 1; \quad (9)$$

式(8)中 T_b 是由先验知识和实际情况确定的常数.

(2) 分割区相对于背景均值的方差与背景方差之比为

$$R_{STD} = \frac{\sigma_{A_i}}{\sigma_{A_b}}, \quad (10)$$

式(10)中 σ_{A_b} 为背景方差, A_i 为分割区面积,

$$\sigma_{A_i} = \left\{ \frac{1}{A_i} \sum_{A_i} [g(i, j) - m]^2 \right\}^{1/2}, \quad (11)$$

式(11)中 m 为背景均值, $g(i, j)$ 为在图像 (i, j) 处像素的灰度值, 其隶属度函数为:

若 $R_{STD} < T_1$, 则

$$\mu_{RSTD} = 0; \quad (12)$$

若 $T_1 \leq R_{STD} < T_2$, 则

$$\mu_{RSTD} = \{(R_{STD} - T_1)/(T_2 - T_1)\}^{1/2}; \quad (13)$$

若 $R_{STD} \geq T_2$, 则

$$\mu_{RSTD} = 1. \quad (14)$$

式(12)~(14)中 T_1 和 T_2 是由先验知识和实际情况确定的常数.

2.1.3 目标的形状特征

目标的形状特征表征为三个隶属度函数:

(1) 占空比: 分割区面积与紧套分割区窗口的面积之比为

$$R_A = \frac{A_i}{A_w}, \quad (15)$$

式(15)中 A_i 为分割区面积, A_w 为分割区窗口面积, 其隶属度函数为:

若 $T_1 \leq R_A < T_2$, 则

$$\mu_{RA} = (R_A - T_1) / (T_2 - T_1); \quad (16)$$

若 $T_2 \leq R_A < T_3$, 则

$$\mu_{RA} = 1; \quad (17)$$

若 $T_3 \leq R_A < T_4$, 则

$$\mu_{RA} = 1 + (T_3 - R_A) / (T_4 - T_3); \quad (18)$$

其它则

$$\mu_{RA} = 0; \quad (19)$$

式(16)~(19)中 T_1, T_2, T_3 是和 T_4 是由先验知识和实际情况确定的常数.

(2) 高宽比:紧套分割区窗口的高宽之比为

$$R_{HW} = \frac{\text{HIGH}}{\text{WIDTH}}, \quad (20)$$

式(20)中 HIGH 为紧套分割区窗口的高度值, WIDTH 为紧套分割区窗口的宽度值,其隶属度函数为:

若 $T_1 \leq R_{HW} < T_2$, 则

$$\mu_{RHW} = (R_{HW} - T_1) / (T_2 - T_1); \quad (21)$$

若 $T_2 \leq R_{HW} < T_3$, 则

$$\mu_{RHW} = 1; \quad (22)$$

若 $T_3 \leq R_{HW} < T_4$, 则

$$\mu_{RHW} = 1 + (T_3 - R_{HW}) / (T_4 - T_3); \quad (23)$$

其它则

$$\mu_{RHW} = 0. \quad (24)$$

式(21)~(24)中 T_1, T_2, T_3 和 T_4 是由先验知识和实际情况确定的常数.

(3) 目标上下面积之比(表征目标上小下大的特性).

首先将目标分割区等分为上下 2 块, 每块再等分为左中右 3 块, A_1, A_2, A_3 和 B_1, B_2, B_3 分别表示上、下各 3 块区域中分割的像素数. 取

$$R_{AB} = \text{MAX} \left\{ \frac{A_1}{B_1}, \frac{A_2}{B_2}, \frac{A_3}{B_3} \right\}, \quad (25)$$

其隶属函数为:

若 $R_{AB} < T_1$, 则

$$\mu_{RAB} = 1; \quad (26)$$

若 $T_1 \leq R_{AB} < T_2$, 则

$$\mu_{RAB} = [(T_2 - R_{AB}) / (T_2 - T_1)]^{1/2}; \quad (27)$$

若 $R_{AB} \geq T_2$, 则

$$\mu_{RAB} = 0. \quad (28)$$

式(26)~(28)中 T_1 和 T_2 是由先验知识和实际情况确定的常数.

根据以上特征隶属度函数, 即可求出具体图像相应的隶属度, 并进行图像识别.

2.2 目标识别

上述特征隶属度函数用模糊语言量表述为:

2.2.1 目标的位置特征

分割区域在图像中距离海天天线越远,成为目标的可能性越小;当离海天天线距离远到一定量时,则不可能是目标.

2.2.2 目标的辐射分布特征

- (1) 种子点(亮区)占分割区总像素数比例越大,成为目标的可能性越大.
- (2) 分割区域中像素灰度偏离背景灰度越大,成为目标的可能性越大.

2.2.3 目标的形状特征

- (1) 分割区域占空比远离某一范围越大,成为目标的可能性越小,当大于某一值时,则不可能是目标.
- (2) 分割区域高宽比远离某一范围越大,成为目标的可能性越小,当大于某一值时,则不可能是目标.
- (3) 分割区域呈上小下大的趋势越大,成为目标的可能性越大.

对上述语言量进行综合评判,最后得到分割区域隶属于目标的置信度.

本文置信度表示为:

$$B = \mu_{ssl} (W_1 \mu_{RSTb} + W_2 \mu_{Rb}) (W_3 \mu_{RA} + W_4 \mu_{RHW} + W_5 \mu_{RAB}), \tag{29}$$

式(29)中 $W_1 + W_2 = 1, \tag{30}$

$$W_3 + W_4 + W_5 = 1; \tag{31}$$

式中 $W_1 \sim W_5$ 为综合评判隶属函数加权系数.

从式(29)可见,置信度由三部分组成,每部分代表了目标的某一类特征.而每类特征又是由 1~3 个特征隶属度经加权而得到.

当 $B \geq 0.5$ 时分割区域是目标,反之当 $B < 0.5$ 时分割区域不是目标.其中权值 W_1, W_2, W_3, W_4 和 W_5 在相应的隶属度小于某一特定值时变为 $-W_i/2, i=1 \sim 5$,以便在某一特征值极不满足时,该特征起到一种否定的作用.为了不使 $B < 0, B < 0$ 时,令 $B = 0$,这样算出

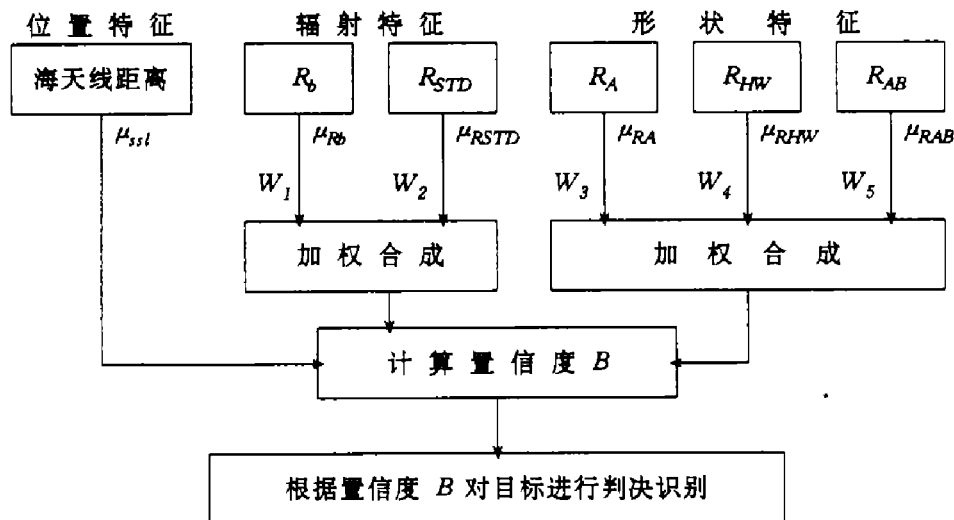


图 2 模糊综合评判示意图

Fig. 2 Schematic diagram of fuzzy overall evaluation

的置信度在 0~1 之间。

综上所述,本文提出的图像分割与识别算法对于红外舰船目标中距离前视红外成像、目标图像不充满视场、海天线上有小岛、云、以及陆地亮带干扰等情况都是适用的。

以上算法,在图像中存在多目标时可以检测识别出多目标,但无法识别出目标的类型。

3 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。

对以上 498 幅图像进行处理的结果是:除了一幅图像外,算出的目标置信度均 > 0.5 ,背景置信度 < 0.5 。在一幅例外图像中,分割出了目标和一块背景区。识别后,目标置信度 = 0.96,背景区置信度 = 0.52,对这一幅产生部分虚警的图像进行对比分析发现:计算目标分割阈值 T 时,计算出的系数 F 过小;算出的背景方差 STD 过小,影响了识别过程中提出的特征。本文对此利用一些序列信息进行单独处理(主要是对均值和方差进行预测滤波),效果较好,能正确识别。

图 3 是用本文方法对实际采集到的舰船红外图像进行分割处理的结果。其中上图为原始图像(图中亮框是经分割后确定的目标可能出现的区域);下图为经分割后的图像(其中左边连通区是目标舰船,右边连通区是分割出的一块背景)。由图 3 目标识别结果算出的特征隶属度及置信度见表 1。

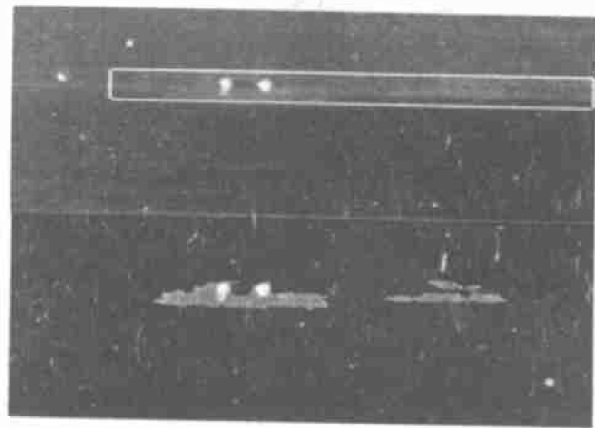


图 3 原始图像及分割后的图像
Fig. 3 Prime image and its segmented image
upper image: prime image

表 1 图 3 中目标识别的结果

Table 1 Target recognition result in Fig. 3

编号	置信度	几何中心	μ_{a1}	μ_{b1}	μ_{RSTD}	μ_{RA}	μ_{RHW}	μ_{RAB}
0(左区域)	0.9572	(102,49)	1.0000	1.0000	1.0000	0.9144	1.0000	1.0000
1(右区域)	0.2696	(191,44)	0.8165	1.0000	0.3302	1.0000	1.0000	1.0000

注:分割出的总连通区域数为 2,其中最大置信度连通区域编号为 0,结果,区域 0(左区域)是舰船,区域 1(右区域)不是舰船。

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 Processing, 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
- 12 张 锋, 杨树谦, 倪汉昌. *红外与激光技术*, 1991, (2): 21-25
- 13 戴金嫦, 诸葛光. *红外技术*, 1990, (6): 31-36
- 15 王泽和. *红外技术*, 1987, (5): 1-4

RECOGNITION OF INFRARED IMAGING TARGET OF SHIP WITH THE FUZZY ALGORITHM

Pei Jihong Xie Weixin

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

Liu Shangqian Yang Yihe

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

Abstract Three kinds of recognition features (position, shape and radiation) and six fuzzy membership functions, which describe these recognition features, are presented through analyzing infrared ship imaging characteristics. With these six fuzzy membership functions, a new method which recognizes forward-looking infrared ship imaging target by overall fuzzy evaluating technique is presented. The method has been used in the emulation experiment for infrared ship images and is proved to be feasible and practical.

Key words infrared ship imaging, feature membership function, fuzzy recognition, overall evaluation.