

基于灰关联的红外目标识别方法

艾 薇, 刘 峥

(西安电子科技大学雷达信号处理重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘 要:针对红外目标类型识别问题,提出了一种基于灰关联分析的红外目标识别算法。该算法在对红外图像进行边缘检测后,提取目标的奇异值特征作为关联参数,通过比较特征参数的灰关联值实现目标识别。该算法根据目标各个特征指标稳定性的不同,采用了一种灰关联加权系数的方法,仿真实验验证了该方法在红外目标识别问题上的有效性,并对目标旋转和平移有一定的适应能力。

关键词:红外;目标识别;灰关联;边缘检测

中图分类号:TP391

文献标识码:A

Infrared Target Classification Based on Grey Correlation Analysis

AI Wei, LIU Zheng

(National Key Laboratory of Radar Signal Processing, Xi'an Electric Science and Technology University, Xi'an 710071, China)

Abstract: Aimed at the problem of the infrared target classification, a recognition method based on gray correlation analysis algorithm is proposed through extracting the singular value feature from the target image after making edge detection to an infrared image. Target recognition is implemented by contrasting gray correlation value of features. One approach determining the weighed coefficients are also proposed based on stability of the features of the target. The example proves that this method can be used for solving the problem of the infrared target classification effectively, and it is adaptive to the rotated target and removed target.

Key words: infrared; target classification; gray correlation analysis; edge detection

1 引 言

红外成像制导是现代导弹制导技术发展的趋势,其中,红外目标图像的识别是该技术的一个关键环节,红外目标的一般识别过程如图1所示。目前对红外目标提取的特征点作为样本点进行分类识别的方法较多,并取得了不少的研究成果^[1-2]。但当待识别的目标与观察者之间存在着相对运动时,目标的形态会随着距离和方位的改变而变化,若采用统计法或模板法这种对目标样本要求过高的识别方法,其识别率会大大降低。灰关联是灰色理论的基本内容^[3]。它与传统的识别方法相比,具有简单、直观和计算量小的优点。同时,它对样本量的大小和分布规律没有过高的要求。灰关联的基本思想是根据因素间相似程度来判断各因素的关联程度。如

果两者存在相关性,则可用一定的关联度来表示两者之间的相关程度。本文研究了基于灰关联的红外目标识别方法,并通过仿真实验验证了本文算法对旋转和移动了的目标同样具有可行性。

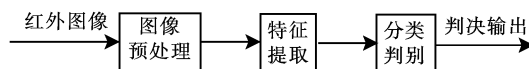


图1 红外目标的识别

2 红外图像的预处理

在红外成像制导过程中,由于导引头由远及近接近目标,因而所获得的目标序列图像是一个关于

作者简介:艾 薇(1983-),女,硕士研究生,主要从事雷达红外制导技术的研究。E-mail: aiyunxuan.164@tom.com

收稿日期:2007-12-25

感兴趣区域由粗到细的分辨率图像序列,传统的单一尺度或简单不变特征模型,不利于进行多尺度目标的表达和识别。为了反映目标在变分辨率图像序列中的实际情况以及保证目标的旋转、平移与尺度变化的不变性,本文采用一种自适应多尺度小波边缘检测及奇异值特征提取的方法。

图像边缘具有丰富的信息量,它表示为图像信息的某种不连续性。边缘检测既保留图像的有用信息,同时在很大程度上消除了原来图像的冗余长度。本文选择高斯函数作为平滑函数,其一阶导数为基本小波函数,对图像提取轮廓,能够较好地抑制噪声,保持有用的边缘。取高斯函数为:

$$\theta(x, y) = G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp[-(x^2 + y^2)/2\sigma^2] \quad (1)$$

对图像 $f(x, y)$ 进行水平和垂直方向的二维小波变换,即由 $f(x, y)$ 与高斯函数的多尺度梯度 ∇G_s 之卷积所决定,为了减少冗余度,将其进行二进制离散化后得到水平和垂直梯度算子为:

$$\begin{aligned} XGG_s(u, v) &= -\frac{1}{s^3} \left[\frac{u-1-(L-1)/2}{2\pi\sigma^4} \right] \cdot \\ &\exp \left[-\frac{(u-1-(L-1)/2)^2 + (v-1-(L-1)/2)^2}{2s^2\sigma^2} \right] \\ YGG_s(u, v) &= \frac{1}{s^3} \left[\frac{v-1-(L-1)/2}{2\pi\sigma^4} \right] \cdot \\ &\exp \left[-\frac{(u-1-(L-1)/2)^2 + (v-1-(L-1)/2)^2}{2s^2\sigma^2} \right] \quad (2) \end{aligned}$$

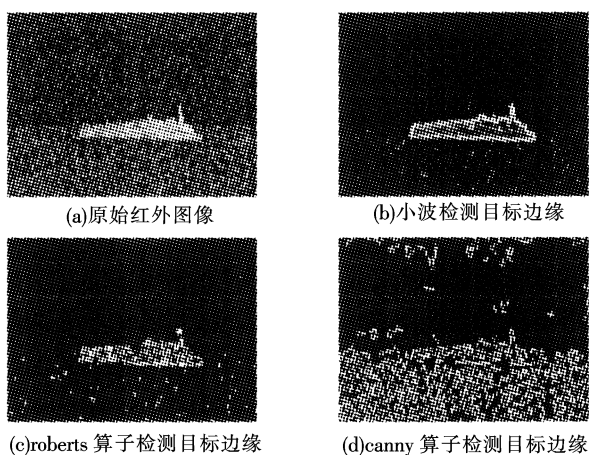


图2 红外图像边缘检测

仿真实验中最小尺度 $s=1, L=3$ (掩膜空间结构 3×3)。图2是分别采用小波算子、roberts算子和canny算子对原始红外图像进行边缘检测后的结果,可以看出小波边缘检测的效果比roberts算子效果好一些,目标边缘较完整,而canny算子几乎没有

检测出目标边缘。

3 红外目标图像的特征提取

在图像识别过程中,由于信息量很大,利用所有提取的特征信息进行识别显然不满足实时性要求,所以需要对待识别的红外图像进行特征提取。本文提取的是图像的奇异值特征。

设原始红外图像的矩阵为 I ,根据矩阵奇异值分解定理,矩阵 I 的奇异值分解表示式为: $I = UWV^T$ 。其中矩阵 U, V 均为正交矩阵,且有 $U^TIV = W = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_p\}$, $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_p \geq 0$, $\sigma_i (i=1, 2, 3, \dots, p)$ 为 I 的奇异值,是 $I^H I$ 或 $I I^H$ 的特征值 λ_i 的平方根,即 $\sigma_i = \sqrt{\lambda_i}$ 。

奇异值特征是一种性能良好的代数特征,是图像的“固有”内在特征,反映了红外图像的内在属性,标准化处理后具有代数和几何上的不变性。特别是对于实际红外序列图像,由于传感器与目标之间的距离发生变化时,目标在图像上的表现大小也将有所不同,它的一般特征值的稳定性不会很好,而奇异值本身具有的良好稳定性解决了这一问题。

4 基于灰关联的红外目标识别方法

4.1 灰关联系数

假设已知类共 M 个(识别框架),其中每个训练数据都是 N 个特征参数构成的联合特征矢量,待识别的目标信号经过特征提取也是一个含有 N 个特征参数的矢量,记为 $X_0 = \{X_0(k) | k=1, 2, \dots, N\}$,其中, $X_0(k)$ 是观测样本中的第 k 个特征参数。选取待识别样本数据 X_0 为参数量。选取已知类型的训练样本数据为比较序列,记为 $X_i = \{X_i(k) | k=1, 2, \dots, N\} (i=1, 2, \dots, M)$,其中 M 为已知模式的数量。

为了保证数据具有可比性,在进行灰关联分析前,需要对数据列进行处理。这里采用区间值化的方法对待征指标数据进行标准化处理。公式如下:

$$Y_i(k) = \frac{X_i(k) - \min_i X_i(k)}{\max_i X_i(k) - \min_i X_i(k)} \quad (3)$$

$Y_i(k) (i=1, 2, \dots, M)$ 与 $Y_0(k)$ 的关联系数^[4-5] 定义为:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_k \min_i |Y_0(k) - Y_i(k)| + \rho \max_k \max_i |Y_0(k) - Y_i(k)|}{|Y_0(k) - Y_i(k)| + \rho \max_k \max_i |Y_0(k) - Y_i(k)|} \quad (4)$$

令 $\Delta_i(k) = |Y_0(k) - Y_i(k)|$, 则:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)} \quad (5)$$

式中, $\rho \in (0, +\infty)$ 称为分辨系数, ρ 越小, 分辨力越大。一般 ρ 的取值区间为 $[0, 1]$, 本文取 $\rho = 0.5$ 。

称 $\Delta_i(k)$ 为第 k 个指标 Y_0 与 Y_i 的绝对差。称 $\min_i \min_k \Delta_i(k)$ 为两级最小差, 其中 $\min_k \Delta_i(k)$ 为第一级最小差, 表示在 Y_i 曲线上, 各相应点与 Y_0 中各相应点的距离的最小值; $\min_i \min_k \Delta_i(k)$ 表示在各曲线找出的最小差 $\min_k \Delta_i(k)$ 的基础上, 再在其中找出最小差的最小值。称 $\min_i \max_k \Delta_i(k)$ 为两级最大差, 意义同两级最小差相似。

根据公式(3)可以求出 $Y_i(k)$ 与对应 $Y_0(k)$ 的关联系数 $\xi_i = \{\xi_i(k) | k = 1, 2, \dots, N\}$ 。

4.2 灰关联度

从关联系数的计算来看, 得到的是各比较数列与参考数列在各指标上的关联数值, 结果较多, 信息过于分散, 不便于比较, 因而有必要将每一个比较数列各个指标的关联系数集中体现在一个值上, 这个值就是灰关联度。常用的计算关联度的方法为平均值法^[4,6], 即:

$$\gamma_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k) \quad (6)$$

按平均值法计算关联度时, 实际上是对比较数列各特征指标或特征空间作平权处理的, 即将各特征指标或特征空间视为同等重要。此外还存在不平权情况, 即对某些特征指标有所偏爱, 或认为某些特征指标更为重要。本文认为特征指标的重要性是有差别的, 即按重要性大小赋予相应的权值 $a(k)$, $k = 1, 2, \dots, N$, 且 $\sum_{k=1}^N a(k) = 1 (a(k) \geq 0)$, 则可定义加权关联度为:

$$\gamma_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k) a(k) \quad (7)$$

式中, $a(k)$ 是根据各特征量指标对目标识别的重要性来决定的, 本文提出一种基于样本方差加权的方法确定权系数。

4.3 基于灰关联的红外目标识别方法

红外导引头由远及近接近目标, 所获得的红外目标图像是由粗到细的变分辨率图像序列。根据红外图像的特点, 若采用数据级的融合, 那系统的实时性得不到很好的保证, 因此, 本文采用特征级识别方法, 即提取的红外目标的奇异值特征进行识别。灰

关联是一种计算量较小, 对样本量的大小和分布规律也没有过高的要求的相似性分析方法, 因而本文将用于红外目标的识别。

本文对四类红外目标进行识别, 以 $Y_i(k)$ ($i = 1, 2, 3, 4$) 表示四类目标的特征参数, $Y_0(k)$ 表示待识别目标的特征参数, 其中 $Y_i(k)$ ($i = 0, 1, 2, 3, 4$) 都取的是目标的奇异值特征参数。求出待识别目标 $Y_0(k)$ 关于 $Y_i(k)$ 的关联系数 $\{\xi_i(k) | k = 1, 2, \dots, N\}$ ($i = 1, 2, 3, 4$)。权系数 $a(k)$ 通过样本各特征指数的方差来确定, 对于稳定的即方差小的特征指标赋以较大的权值, 对于相对较不稳定即方差大的特征指标赋以较小的权值。具体方法为: 对未知目标求 N 个奇异值特征向量的方差 $\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N\}$, 求 $\sigma_{\max}$ ($\sigma_{\max} = \max \{\sigma_1, \dots, \sigma_N\}$), 定义 $a'(k) = \left\{ \frac{\sigma_{\max} - \sigma_1}{\sigma_{\max}}, \dots, \frac{\sigma_{\max} - \sigma_N}{\sigma_{\max}} \right\}$, 对 $a'(k)$ 做归一化处理得到 $a(k)$ 。计算 $\gamma_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k) a(k)$ 根据关联度进行分类, 若 $\gamma_i > \gamma_j (i \neq j) (j = 1, 2, 3, 4)$, 判断目标为 i 类。

5 仿真实验

为了检验上述方法的有效性, 进行了三组仿真实验。实验中, 提取红外图像的奇异值作为特征参数, 为了减少运算量, 达到实时应用的要求, 对奇异值特征进行了降维压缩。四类舰船目标各采用 150 个样本, 其中 30 个样本作为训练样本, 120 个样本作为测试样本。对比了三种识别方法, 即: 欧式距离分类方法、采用平均权系数的灰关联方法和采用方差加权的灰关联方法, 试验结果如表 1 所示。为了验证该方法对于目标的旋转和平移不敏感, 在红外目标旋转和平移的情况下各做了一组实验, 试验结果如表 2 和表 3 所示。

表 1 红外目标识别结果

	A 类目标	B 类目标	C 类目标	D 类目标
欧式距离分类	67.5%	90.8%	72.5%	78.3%
基于平均权系数灰关联	70%	90.8%	73.3%	80%
基于方差加权灰关联	99.6%	98.3%	99.2%	95%

表 2 旋转红外目标的识别结果

	A 类目标	B 类目标	C 类目标	D 类目标
基于平均权系数灰关联	75.8%	94.2%	70.8%	71.7%
基于方差加权灰关联	96.7%	99.2%	93.3%	99.3%

(下转第 618 页)

是某地区下视激光雷达图像,信噪比较高,河流和街道清晰可辨。从视觉上看,融合的图像边缘清晰、几何形状无大的变化。从表2统计数据看,信息熵得到较好的保留,散斑噪声得到很好的抑制。

通过仿真试验可以看出:基于 RBF 神经网络的图像融合技术对于激光雷达图像的滤波是有效的;同时也说明了选择仿真的激光雷达图像作为训练的样本是可取的。

表2 真实激光雷达图像仿真数据

Tab. 2 Data of real laser image

性能指标	熵	散斑指数	标准方差
实际图像	6.5092	0.0605	0.1757
多级中值滤波	6.366	0.04079	0.1724
Gamma 滤波	6.4855	0.03579	0.1667
小波软阈值	6.469	0.05073	0.1734
融合滤波	6.486	0.03526	0.1745

4 结 论

本文分析了激光雷达图像滤波算法,针对单一滤波方法的不足,提出了基于 RBF 神经网络的融合滤波算法,神经网络通过对样本的学习,能够汲取各种滤波算法的优势,融合出质量较好的图像,比单一的融合算法效果好。

参考文献:

- [1] 蒋立辉,王春晖,王骥,等. 脉冲相干激光雷达的散斑成像模型及其散斑噪声压缩[J]. 光学学报,2000,20

(12):1623-1628.

- [2] 李自勤,李琦,王骥. 由统计特性分析激光主动成像系统图像的噪声性质[J]. 中国激光,2004,31(9):1081-1085.
- [3] Lee J S. Speckle suppression and analysis for SAR image[J]. Opt Eng,1986,25:636-643.
- [4] 李强,王正志. 基于小波分析的 SAR 图像数据压缩与噪声抑制综合技术[J]. 宇航学报,1997,20(10):8-12.
- [5] Henri H Arsenault, Martin Levesque. Combined homomorphic and local-statistics processing for restoration of images degraded by signal dependent[J]. Applied Optics, 1984,23(6):845-850.
- [6] 蒋立辉,赵春晖,王骥. 基于非线性加权均值的多方向广义形态滤波算法的 Speckle 噪声抑制[J]. 信号处理,2003,19(2):145-148.
- [7] 蒋立辉,赵春晖,王骥. 用非线性加权均值多方向形态滤波算法抑制散斑噪声[J]. 中国激光,2004,31(1):81-84.
- [8] 王骥,蒋立辉,李宁,等. 基于同态滤波与自适应模糊多级中值滤波级联算法的散斑噪声污染图像恢复[J]. 中国激光,2001,28(7):655-658.
- [9] 蒋立辉,李宁,成向阳,等. 基于一种新的同态滤波算法的散斑噪声压缩[J]. 激光与红外,2000,30(1):11-14.
- [10] 于秋则,曹矩,谭毅华,等. 基于 DEM 与可见光图像的机载激光成像雷达强度像仿真[J]. 测绘学报,2004,33(3):249-252.

(上接第611页)

表3 平移红外目标的识别结果

	A类目标	B类目标	C类目标	D类目标
基于平均权系数灰关联	70%	93.5%	82.5%	75%
基于方差加权灰关联	99.1%	98.3%	93.3%	99.3%

6 结束语

本文对经边缘检测后的红外目标提取其奇异特征值进行识别。通过仿真实验证明基于方差加权的灰关联方法较之欧式距离分类法和基于平均权系数的灰关联方法具有较高的识别率,并对目标的旋转和平移不敏感。因此该算法在红外目标识别中具有可行性。

参考文献:

- [1] 王美,沈国土,杨宝成,等. 小目标与海空背景合成红外图像统计特性分析[J]. 红外与激光工程,2006,35(6):722-727.
- [2] 刘松涛,沈同圣,周晓东,等. 舰船红外居像目标实时识别与跟踪系统研究[J]. 系统工程与电子技术,2005,27(8):1405-1408.
- [3] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [4] Guan Xin, He You, Yi Xiao. A novel gray model for radar emitter recognition[J]. IEEE, 2004:2116-2119.
- [5] K C Chang, M F Yeh. Grey relational analysis based approach for data clustering[J]. IEE Proc. -Vis. Image Signal Process, 2005,152(2):165-172.
- [6] 黄福贵,陈功,益晓新. 基于灰关联分析的声目标识别[J]. 测控技术,2006,25(11):35-37.