

基于分形特征和 Hough 变换的海天线检测算法

吕俊伟，王成刚，周晓东，刘松涛

(海军航空工程学院控制工程系，山东烟台，264001)

摘要：海天线检测是研究成像型反舰导弹末制导技术的一项重要内容。首先深入地探讨了海空背景下的海天线检测问题，然后提出了基于分形特征和 Hough 变换的海天线检测算法。实验表明，算法精度高，可以有效地检测出复杂海空背景下的海天线，为进一步应用（如目标识别、图像配准）奠定了良好的基础。

关键词：海天线检测；分形；Hough 变换

中图分类号：TP 317.4

文献标识码：A

0 引言

在海面远距离平视状态下，海面舰船目标成像一般分为 3 个区域：天空区域、海面区域和海天线区域。目标若是出现，则一定处于海天线区域。针对上述成像特点，通过确定海天线区域，可以减少执行目标分割时的计算量，同时，抑制了海天线区域外不必要的噪声干扰。为了确定海天线区域，海天线检测是必须的。张峰^[1]等采用行映射直方图的方法确定海天线区域。这种方法适用于简单的海天背景，但是二值化门限不好确定。Mohanty^[2]等认为，通过行平均，列方向梯度最大值位置为海天线位置。这种方法未考虑到海天线是倾斜的情况，同时忽略了海杂波的干扰。R. Talluri^[3]等在机器人导航中，以图像中的交界线为特征，缩小了搜索、匹配区域，交界线的定位方法仅指明使用了梯度，具体不详。裴继红^[4]等发展了梯度的思想，提出用直线拟合法进行海天线的提取。该方法已成功用于简单背景下的海天线提取，但某些复杂的情况下，则难以得到满意的提取效果。文献[5]丰富了裴继红提出的方法，在提取海天线前，加了有效的预处理措施，并且对参与直线拟合的点进行再确认。实验中，即使在低对比度、高噪声条件下，该方法仍能准确地定位海天线，但是当出现云团干扰、其他较大面积的人为或自然干扰时，效果仍不太理想。

近年来，有不少学者将小波变换引入海天线检测领域，其主要思想是：不同尺度下，小波函数抑

制噪声和提取边缘能力不同。小尺度下边缘定位准确，但噪声较强，边缘识别的可靠性低；大尺度下噪声得到很好抑制，边缘识别的可靠性提高，但边缘定位精度降低。考虑到海天线检测只是为了确定目标潜在区域，所以精度低也不会影响到目标检测结果。裴立力^[6]等认为海天线边缘具有直线特性，所以在大尺度下采用 Hough 变换进行直线检测确定直线方程。稍有不同，魏颖^[7]等在大尺度下用最大邻域法检测最长的边缘线为海天线，并根据尺度之间关系，建立原图像中的海天线直线方程。温佩芝等^[8]又对其进一步做了简化。但不可否认，小波变换的引入使算法的工程性降低，而且 M. Faraklioti^[9]在检测地震图像中的水平线时，认为多分辨率检测算法的性能还不如单分辨率算法。为此，温佩芝^[10]等又根据海面和天空具有完全不同的辐射特性，在红外图像中表现为两大类不同灰度区域的特点，提出了基于最大类间方差法的海天线检测算法，但该方法适应性不好，比如对云团干扰就失效了。文献[11]考虑到二维小波的方向敏感特性，提出了一种快速算法，效果较好。

针对坦克的可见光与红外图像的配准，Sheng^[12]等提出了基于轮廓线的配准算法，选取的轮廓线是天空与陆地的交界线。提取交界线时，先用高斯滤波器去噪，再用 Canny 算子边缘检测。为解决强噪声或烟雾引起的边缘线不连续问题，提出曲率测度方法，但边缘跟踪过程中可能会导致错误连接，甚至整个边缘都是错误的。故 Randrianarisoa^[13]等又

提出了基于区域和轮廓信息的边缘跟踪方法，但是该方法对于边缘线出现分支情况时，仅利用当前像素矢量方向进行判断，可靠性不好。

海空背景的红外图像中的海面和天空可以看成两种不同纹理的图像，而海天线即为两种不同纹理的边缘，在海天线附近分形参数会发生奇异。本文就是基于这个特性，提出了基于分形特征和 Hough 变换的复杂海空背景下海天线检测算法。

1 海天线特点分析

海面和天空连接处是灰度差值较大的区域，因而海天线是灰度梯度变化较大点的连线。海天线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，并且通常都有一定的倾斜度，但是可以将其细化、拟合为一条直线。

当目标位于海天线上或海天线附近时，相应位置在水平方向上的灰度梯度将显著变大，垂直方向上灰度梯度也有所变化，表现为边界的上、下边缘，而不再是海天线，这些变化导致海天线的直线性被破坏了。

海空环境对海天线提取算法有直接的影响。^① 云层和海浪在形成过程中受到物理规律的制约，它们在空间上往往呈大面积的连续分布状态，在红外辐射的强度上也呈渐变过渡状态，所以云层和海浪等自然背景的边缘仅在某些连续的方向上具有高梯度^[14]。^② 平缓的自然背景在各个方向上的梯度都较小。^③ 战场烟雾引起图像中梯度的变化，可视为具有云层性质，即不规则的边缘。^④ 大气能见度对海天线清晰程度的影响，会导致海天线不可见。^⑤ 大面积云团的存在，对海天线检测影响明显，因为云团也是灰度变化剧烈的地方，易使检测出的海天线偏向天空。另外，复杂的海面杂波也不同程度地混淆海天线的检测。所有这些复杂的情形从客观上给海天线检测带来了难度。

2 基于分形特征和 Hough 变换的海天线检测

2.1 分形布朗随机场

Pentland 把分形布朗运动（Fractional Brownian Motion-FBM）引入图像处理领域，提出了分形布朗随机场（FBRF），证明大多数自然景物表面所映射的灰度图像在一定尺度内满足各向同性的 FBRF，并将 FBRF 作为自然景物图像的描述模型^[15, 16]。

图像某一像素的灰度值用 $I(x, y)$ 表示，用 Δr 表

示该像素邻域内所有的像素点之间的距离， $\Delta I_{\Delta r}$ 表示在相应距离上的两像素点的灰度差值， $E(\Delta I_{\Delta r})$ 表示在 Δr 距离上像素灰度差的均值。若图像满足 FBRF，有：

$$\begin{aligned} E(|I(x_2, y_2) - I(x_1, y_1)|) &= K \left(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \right)^H, \\ \Delta I_{\Delta r} &= |I(x_2, y_2) - I(x_1, y_1)|, \\ \Delta r &= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \end{aligned}$$

则：

$$E(\Delta I_{\Delta r}) = K \cdot \Delta r^H,$$

两边取对数，有：

$$\log(E(\Delta I_{\Delta r})) = H \cdot \log(\Delta r) + \log K.$$

通过最小二乘法拟合数据点对 $(\log(E(\Delta I_{\Delta r})), \log(\Delta r))$ ，拟合直线的斜率即为分形参数 H 的值。对二维图像， H 参数值反映分形图像表面的粗糙度。

对于 FBRF， $0 < H < 1$ ， H 参数发生奇异说明了图像中不同纹理边缘的存在^[15, 16]。海空背景的红外图像中的海面和天空可以看成两种不同纹理的图像，而海天线即为两种不同纹理的边缘，因此 H 参数发生奇异的位置就可能是海天线。

2.2 H 参数图像二值化

对图像逐点像素计算分形参数 H ，得到反映其分形特性的 H 参数图像，然后对该图像进行二值化处理。二值化 H 参数图像时，依据非边缘点数目在总图像像素点数目中占有的比例确定阈值，使灰度值为 1 的像素点数占整个图像像素点数的 10%（该参数的选取因战场环境和图像质量而异，本文算法着重针对复杂海天背景，所以取值较大）。实验表明，采用此阈值选取策略能够更加有效地检测出海天线的位置。

2.3 二值图像细化

对于复杂海空背景，分形时由于选取的模板不能太小（太小不足以反映其分形特征），因而检测出的海天线较粗，二值图像中可能有像素连成一片，影响 Hough 变换的提取精度和实时性，所以要进行细化。细化的原则为沿垂直方向将线段简化为一个像素。由于海天线其实是一条亮带，文中取线段中段的像素，以保持定位的一致性。

2.4 Hough 变换提取海天线

Hough 变换的基本思想是点到线的对偶性。图像变换前在图像空间，变换后在参数空间。在图像

空间 XY 中的一条直线 $y = px + q$ (其中 p 为斜率, q 为截距) 对应参数空间 PQ 中的一个点 (p, q) 。因此, Hough 变换把在图像空间中的直线检测问题转换到参数空间里对点的检测问题。图像空间的一条直线上的点, 对应着一个参数空间累加器, 并且直线上的每一点引起对应累加器的值增加 1, 从而在 Hough 参数空间形成一个与直线对应的局部最大值, 通过检测 Hough 参数空间中的所有局部最大值, 就可以找到一组对应的直线。

本文为检测图像中最长的直线, 所以检测出参数空间的最大值即可。

检测出海天线后, 以海天线为中心的上下 σ 区域划分为目标潜在区域, 大大降低了后续图像分割和目标识别的计算量, 并抑制了区域外干扰。

3 算法仿真

选取实拍的海天背景红外舰船目标低对比度图像来进行算法仿真, 分形采取的是 5×5 大小的窗口。从图像起点开始, 沿水平和垂直方向滑动该窗口, 并在窗口内求取中心像素图像的分形参数 H , 从而将图像表面的灰度空间映射成图像表面的分形参数空间。

图 1a) 为低对比度原始图像, 图 1b) 为 H 参数图像, 图 1c) 为二值化 H 参数图像, 图 1d) 为二值化 H 参数图像细化后的图像, 图 1e) 为 Hough 变换提取海天线后的图像。

图 2 为改进的直线拟合法提取海天线后的图像。



a) 原始红外图像



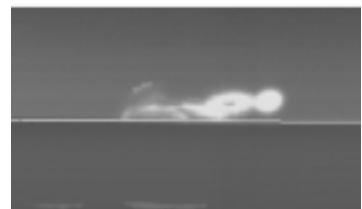
b) H 参数图像



c) 二值化 H 参数图像



d) 细化后图像



e) Hough 变换提取海天线

图 1 基于分形特征和 Hough 变换的海天线检测



图 2 改进的直线拟合法提取海天线后的图像

选取了改进的直线拟合法和最大类间方差法和本文算法做了仿真比较。由于施放了烟幕弹, 舰船被屏蔽, 最大类间方差法不能有效地检测海天线, 由图 2 可以看出改进的直线拟合法检测的海天线右端明显偏向天空, 而由图 1e) 可以看出本文算法达到了较好的检测效果, 因此在海天线的定位精度和对战场环境的适应性方面, 本文方法较之改进的直线拟合法和最大类间方差法有明显的提高。

4 结论

海天线检测是研究成像型反舰导弹末制导技术的一项重要内容。通过检测海天线, 可以确定目标的潜在区域, 从而减少目标自动捕获的计算量, 同时抑制区域外复杂的人为的或自然的干扰。另外, 精确的海天线检测可以作为可见光和红外图像配准

中有效的一致性特征，同时也可缩小配准区域，从而增加配准算法的实时性。为此，本文深入地探讨了复杂海空背景下的海天线检测问题，基于海天线附近分形参数会发生奇异的特点，提出了基于分形特征和 Hough 变换的复杂海空背景下海天线检测算法。实验表明，算法可以有效地检测出复杂海空背景下的海天线，为进一步应用（诸如目标识别、图像配准）奠定了良好的基础。

参考文献：

- [1] 张锋, 杨树谦, 倪汉昌. 舰船红外图像特征提取及目标识别技术探讨[J]. 红外与激光技术, 1991, (2):21-25
- [2] Mohanty N C. Image Enhancement and Recognition of Moving Ship in Cluttered Background[J]. IEEE, 82CH1761-6/82, 1982, 135-140
- [3] Talluri Raj, Aggarwal J K. Position estimation for an autonomous mobile robot in an outdoor environment[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1992, 8(5):573-584
- [4] 裴继红. 海面舰船红外成像目标的实时识别与跟踪[D]. 西安: 西安电子科技大学, 1994:8-12
- [5] 刘松涛, 周晓东, 张晓敏. 舰船目标海天线提取方法研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2002, 17(6):642-644
- [6] 裴立力, 史泽林, 罗海波. 一种基于小波多尺度分析的海天线检测方法[J]. 沈阳工业大学学报, 2003, 25 (2):125-128
- [7] 魏颖, 史泽林, 李成军. 海空背景下红外小目标检测算法[J]. 红外与激光工程, 2003, 33(2):153-156
- [8] 温佩芝, 史泽林, 于海斌. 基于小波变换的复杂海面背景红外小目标检测 [J]. 激光与红外, 2003, 33(6): 449-452
- [9] Farakliti M, Petrou M. Multiresolution versus single resolution horizon picking in 2D seismic images[C]//Proceedings of SPIE Image and Signal Processing for Remote Sensing IX, Vol. 5238, Bellingham, WA, 2004: 50-61
- [10] 温佩芝, 史泽林, 于海斌. 复杂海面背景红外小目标自动检测方法 [J]. 红外与激光工程, 2003, 32(6): 590-593
- [11] 韩艳丽, 任建存, 卢刚. 一种基于小波变换的天水线提取算法 [J]. 海军航空工程学院学报, 2005, 20(3): 338-340
- [12] Sheng Y, Yang X, McReynolds D. Real-world multisensor image alignment using edge focusing and Hausdorff distances[C]//Proceedings of SPIE Sensor Fusion, Vol. 3719, Orlando, U.S.A, 1999:174-184
- [13] Randrianarisoa V, Yang X, Sheng Y. Robust automatic ground image feature extraction for multisensor image registration[C]//Proceedings of SPIE Sensor Fusion, Vol. 4385, Orlando, U.S.A, 2001:129-139
- [14] 马治国, 王江安, 宗思光. 海天线附近红外弱点目标检测算法研究[J]. 激光与红外, 2004, 34(5):390-394
- [15] Pentland A P. Fractal-Based Description of Natural Scenes[J]. IEEE Trans on pattern analysis and machine intelligence, 1984, 6:661-674
- [16] Pentland A P. Shading into texture[J]. Artificial Intelligence, 1986, 29:147-170

A sea-sky-line detection algorithm based on fractal feature and Hough transform

LV Junwei, WANG Chenggang, ZHOU Xiaodong, LIU Songtao

(Department of Control Engineering, NAEI, Yantai, Shandong, 264001)

Abstract: Sea-sky-line detection is an important component involved in the guidance techniques of imaging anti-ship missile. In this paper, firstly the problem of sea-sky-line detection is discussed in detail. Secondly a sea-sky-line detection algorithm based on fractal feature and Hough transform is proposed. Lastly the experimental results show that the algorithm can detect out sea-sky-line under complicated sea-sky background effectively, which provides a good base for further application such as target recognition, and image registration, etc.

Key words: sea-sky-line detection; fractal; Hough transform

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>