

# 一种基于图像分割的海天线提取算法

吴滢跃, 汤心溢, 刘士建, 张浩均, 周 妮

(中科院上海技术物理研究所, 上海 200083)

**摘要:** 针对红外图像中海天线的特点, 提出一种基于图像分割的海天线提取方法。首先通过模板运算对图像进行预处理, 以增强海天区域的图像梯度值, 然后在竖直方向对图像进行分割, 以定位局部海天线, 最后用直线拟合法找出海天线位置。实验结果表明, 该方法可以快速有效地检测出海天线位置, 易于工程应用。

**关键词:** 海天线; 图像分割; 直线拟合

**中图分类号:** TN219      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-8891(2012)10-0584-04

## A Method for Sea-sky-line Detection Based on Image Division

WU Ying-yue, TANG Xin-yi, LIU Shi-jian, ZHANG Hao-jun, ZHOU Ni

(Shanghai Institute of Technical Physics of CAS, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** Through analyzing characteristics of infrared image, this article introduces a sea-sky-line extraction algorithm based on image division. Firstly, the image preprocessing is taken by applying big-sacle filtering to enhance the gray gradient in sea-sky-line area. Secondly, image segmentation in the vertical direction is used to identify local sea-sky-line position. Finally, sea-sky-line position is identified by using straight line fitting algorithm. The experimental result showed that the method can locate sea-sky-line efficiently and correctly and can be used for engineering application.

**Key words:** sea-sky-line, image division, straight line fitting

## 0 引言

对于海空背景下的红外图像, 一般分为三大区域: 天空、海面和海天线区域, 当对海上目标进行观测时, 远距离的目标大都出现在海天线附近。针对上述特点, 通过确定海天线区域, 即可确定目标出现的潜在区域, 从而抑制海空背景下不必要的各种噪声干扰, 降低后续目标检测的难度和复杂度。

目前海天线提取方法大致分为三类: 第一类是基于多尺度小波变换的方法<sup>[1,2]</sup>, 其优点是可靠性高, 缺点是算法复杂、计算量大; 第二类是基于边缘点Hough变换(Hough Transform, HT)的方法, 计算量比小波变换少, 但仍然偏大。第三类是基于图像分割的方法, 本文就是基于此方法并加以改进。

根据红外图像的特点, 本文提出一种改进的基于图像分割的海天线提取方法。首先对红外图像进行最小值滤波以减小海面区域极大值点的灰度值, 接着用

中值滤波使图像变平滑, 然后把图像在竖直方向分割成均匀的子图像, 分别对每一块子图像进行局部海天线定位, 最后用直线拟合法确定海天线的位置。

## 1 海天线红外图像的特点

海天线是海面和天空区域的交界线, 在红外图像中是灰度值变化较大的区域, 是一条亮度由高到低的海天交界渐变带<sup>[3]</sup>, 并且通常具有一定的倾斜度。但是在工程应用当中, 由于红外系统工作环境复杂, 红外辐射在潮湿海面大气中传输衰减和空气的散射和吸收作用, 且红外图像易受噪声的影响导致图像质量显著下降, 红外图像中的海天线渐变带模糊不清。尽管在海面的局部波纹处, 图像垂直方向上的灰度差可能比海天线处的灰度差还大, 但其不会贯穿整幅图像, 如果对图像各行像素值求和, 海天线应该出现在其变化最大的区域。图1为红外系统拍摄的4种典型的海天线图像, 海天线应该接

收稿日期: 2012-08-08。

作者简介: 吴滢跃(1980-), 男, 浙江诸暨人, 助理研究员, 主要从事光电对抗技术方面的研究工作。Email:wyhit@163.com

基金项目: 国家十二五国防预研项目; 国家863计划资助项目, 项目编号: 2011AA7031002G。

近一条直线,可能如图1(a)与图1(c)所示接近水平,也可能如图1(b)与图1(d)所示略有倾斜。

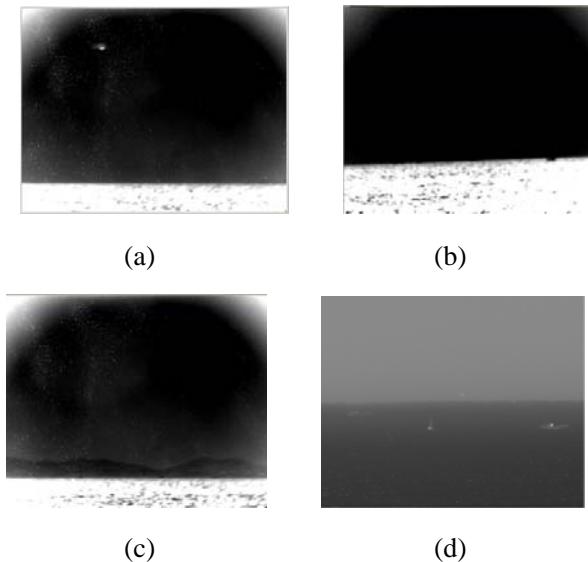


图1 四种典型的海天线场景红外图像

Fig.1 Four typical sea-sky-line infrared images

## 2 海天线检测

### 2.1 算法流程

首先对红外图像进行滤波等预处理,然后运用算子进行水平梯度检测,并对图像非线性分割,之后在竖直方向把图像分割成15等分的子图像,在子图像上局部定位海天线的位置,对15个子图像得出的15个海天线位置点进行筛选,去伪存真,最后用直线拟合法确定海天线的位置。算法流程见图2。

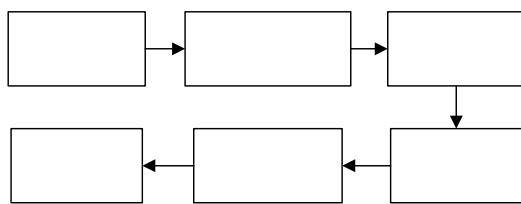


图2 算法流程图

Fig.2 Algorithm flow chart

### 2.2 图像预处理

在某些情况下,由于海面温度不均匀,图像的灰度值起伏比较大,变化比较快,呈现出“波光粼粼”之感,如图3(a)所示,但是没有大片的亮区域或暗区域。下节中提到的水平梯度检测的方法就是通过判断垂直方向上梯度的方式来确定海天线位置,“粼波光粼”对水平梯度检测方法有比较大的影响,图像预处理就是为了消除这种影响。预处理的结果就是减少了海面区域的水平方向的梯度值。

①使用5\*5最小值滤波器<sup>[4]</sup>,减小海面区域极大值点的灰度值

②使用5\*5平滑滤波器,它对均匀的天空背景的影响不大,但可以进一步减少海面区域的梯度值

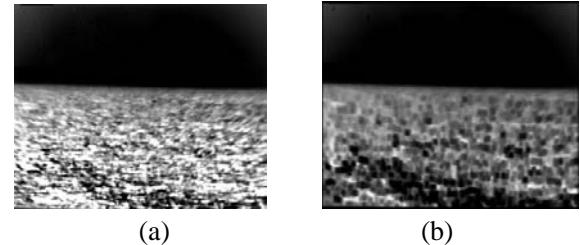


图3 图像预处理效果

Fig.3 The result of image preprocessing

从图3中可以看到,图3(a)经过预处理之后,得到图3(b),起到了平滑的作用。

### 2.3 水平梯度检测

由于海天线渐变带模糊不清且海面水纹的影响,直接对图像作梯度的检测<sup>[5]</sup>效果并不理想,而且图像受噪声点污染。但是从大尺度上来分析,海面背景与天空区域之间必定有较大的梯度。

海天线应该出现在对图像各行求和后,水平梯度值最大的区域,这里求和梯度的次序可以互换。波纹的变化是杂乱无序的,图像越宽,参与求和的像素点越多,不同处波纹的影响会相互抵消,所以这个假设的准确度越高。

因此采用模板(1)进行水平梯度检测,并且在垂直方向让更多的像素参与求梯度,可以抵消不同处波纹的影响。 $f(x,y)$ 为相应位置的梯度值。

$$f(x,y) = [-1 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1]^T \quad (1)$$

该模板系数相加总和为0,在同一区域内对模板的响应为0,在海天线附近对模板的响应为2,因此对海天线渐变带进行了增强。另外从图1中可以看到,天空有时比海面要亮,这时需要用模板(2)

$$f(x,y) = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ -1 \ -1]^T \quad (2)$$

### 2.4 非线性分割

由于水面波纹和图像噪声引起的梯度信息灰度值<sup>[6]</sup>可能比海天线区域的梯度值还大,为了降低水面波纹和图像噪声的影响,考虑到海天线区域的灰度值是渐变的,经过上述的模板处理后的梯度值应该不大;而由于水面波纹引起的反光或图像噪声得到的梯度值往往很大,所以设计了如下分割公式,在进行行扫描前先对梯度图像做非线性分割:

$$f(x) = \begin{cases} x & x < 3 \\ 3 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

### 2.5 图像分割与局部海天线定位

通过模板运算和非线性分割处理后,原来海空背景模糊的过渡带会有一条水平的淡淡的贯穿图像

左右的亮线, 通过式(4)对图像的每一行求灰度和:

$$\text{sum}(i) = \sum_{j=1}^N p(i, j), \quad j = 1, \dots, N \quad (4)$$

式中:  $p(i, j)$  为第  $i$  行第  $j$  列的灰度值,  $\text{sum}(i)$  为第  $i$  行所有像素点的灰度值和。

灰度和最大值的位置即为海天线:

$$\text{Pos} = \max[\text{sum}(i)], i = 1, \dots, M \quad (5)$$

式中:  $\text{Pos}$  表示灰度和最大行所对应的位置。

对图像在水平方向上分块, 然后根据公式(4)和(5)定位每个局部区域海天线的位置。从局部区域定位的准确性来说, 希望划分的块数越少越好, 这样在每一块中参与求和的像素点的个数越多, 越能抵消局部波纹处的影响。但在下一步“筛选检测点”中, 希望划分的块数越多越好, 这样参与筛选的局部海天线个数越多, 越能滤除误检测的位置。这里我们采用如图 4 所示的算法, 其图像是已经过水平梯度检测的结果:

① 图像的尺寸是 256 (高)  $\times$  360 (宽), 水平方向上分为 15 块, 每一块的尺寸是 256  $\times$  24;

② 每一块图像在水平方向上求和, 共得到 15 个 256  $\times$  1 的列向量;

③ 前后两个列向量相加, 即第 1、2 个列向量相加, 第 2、3 个列向量相加……共得到 14 个 256  $\times$  1 的列向量;

④ 类似公式(5), 每个列向量中最大值的位置即为该局部区域海天线的位置, 这里不是直接对第 1、2 块, 第 2、3 块水平方向上求和, 而是先做第 2 步, 再做第 3 步, 可以复用计算结果, 减少计算量。

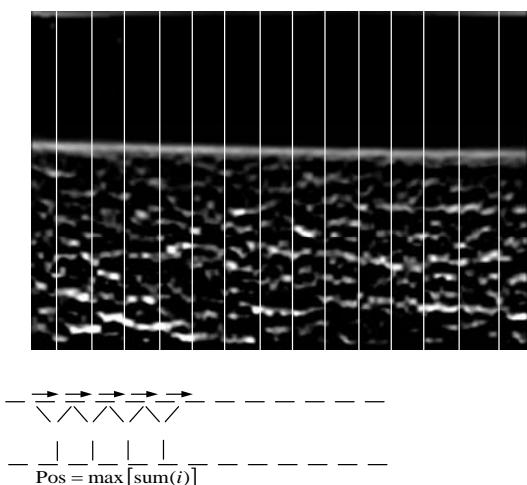


图 4 图像分割后定位局部海天线

Fig.4 Identify local sea-sky-line after image division

## 2.6 筛选检测点

由于波纹的影响, 也可能有局部区域的海天线

定位错误, 如图 5, 为了得到准确的海天线位置, 必须去除误检测点。之前提到, 海天线应该接近一条直线, 我们设定了如下两个筛选准则:

准则 1: 海天线的倾角不会太大, 所以除了第一个和最后一个局部位置, 各个海天线位置和它相邻的海天线位置的纵坐标之差的绝对值应该小于某个阈值, 这个阈值的选取比较容易, 一般可以选择 10 左右, 从图 5 中可以看到, 误检测点的水平位置和海天线的位置差异很大。

准则 2: 在实践中发现, 不排除可能有个别连续误检测点也能通过准则 1, 比如连续三个误检测点的中间一个。也可能有正确的局部位置, 因为有相邻的误检测点而被剔除。所以这里对所有通过准则 1 的位置的纵坐标求平均值, 其中重新筛选所有检测点, 和平均值的差的绝对值小于某一阈值的, 作为正确的检测点。

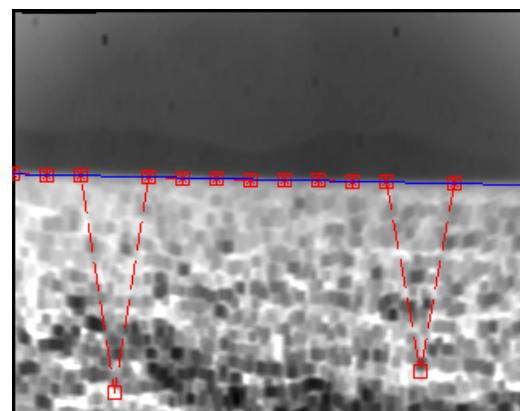


图 5 有误检测点的结果

Fig.5 A result with false detected points

## 2.7 直线拟合

把海天线看作是直线, 设其方程为:

$$Y = Ax + B \quad (6)$$

式中:  $A$  表示该直线的斜率;  $B$  表示截距。假设经过上述步骤, 得到  $N$  个局部海天线位置, 其坐标为  $(x_i, y_i)$ , 其中  $i = 1, 2, \dots, N$ 。在最小均方误差 LMS 意义下求得:

$$A = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \quad (7)$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{i=1}^N y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N x_i y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \quad (8)$$

### 3 实验结果与分析

图6给出了针对不同场景下,上述算法的实验结果,“□”表示每一块图像梯度最大处。图6(c)中由于海面波纹比较明显,有两处误检测点,经过筛选滤除后,仍然给出了正确的海天线位置。图6(d)中海天线的位置比较模糊,通过直线拟合后也能给出较为满意的结果。可以看到,只要海面波纹起伏不要太大,算法是准确有效的。

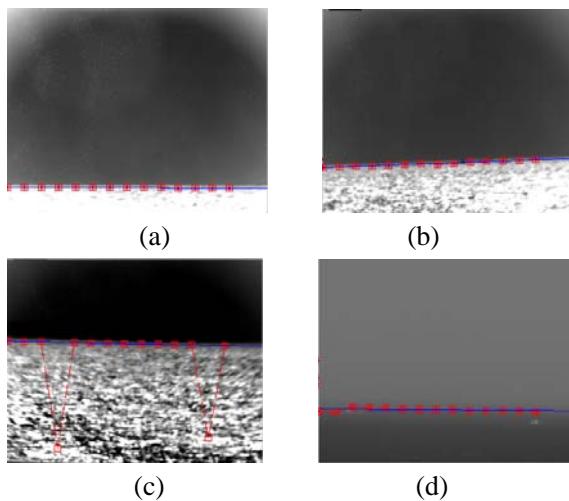


图6 实验结果

Fig.6 Experiment results

算法量运算量分析,对于 $M \times N$ 的图像,模板(1)中每个象素需要作1次加法,则运算量为 $M \times N$ ,非线性分割每个象素作1次判断,运算量也为 $M \times N$ ,行求和运算量为 $M \times N$ ,最大值判断运算量为 $M \times N/n$ ,其中 $n$ 为图像分割的等份数,筛选检测点运算量为 $n$ 次判断,直线拟合运算量 $5n+5$ 次乘法和

$11n+3$ 次加法,由于 $n$ 值为15,因此相对于 $M \times N$ 的运算量可以忽略不计,因此总的运算量约为 $3M \times N + M \times N/n$ 。对于1GHz的DSP处理器来说,提取一帧 $256 \times 360$ 图像的海天线时间大约为276.5μs。

### 4 小结

本文提出的海天线检测方法,算法简单,实时性好。实验结果表明,该方法能在多种典型的海天线红外图像中有效地检测出海天线的位置。通过确定海天线区域,大大减少了目标自动捕获的计算量,并抑制海天线以外的噪声及假目标的干扰,为目标识别和图像配准奠定了良好的基础。

### 参考文献:

- [1] 李德仁,关泽群.空间信息系统的集成与实现[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000.
- [2] 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.
- [3] 贾建科,张麟兮,郑春来.基于Vega的场景红外成像仿真研究[J].红外技术,2006,28(3): 174-177.
- [4] 冈萨雷斯,阮秋琦.数字图像处理[M].北京:北京电子工业出版社,2007: 97-98.
- [5] 刘士建,蒋敏,庄良.一种快速有效的红外图像中海天线提取算法[J].红外技术,2011,33(4): 230-23.
- [6] 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,1991,20(2):17-22.

## 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](http://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](http://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](http://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>