

HOUGH 变换在海浪遥感图像 处理中的应用

刘政凯 毕亚雷

黄润恒

(中国科学技术大学信息中心)

(国家海洋局环境预报中心)

1989年7月12日收稿

摘 要

本文提出了一种以 HOUGH 变换为基础的海浪波长波向分析法,并对 SEASAT 合成孔径雷达获取的海洋遥感图像进行了方向和波长分析。该方法模拟人类纹理视觉机理,首先应用 CFCM 动态聚类方法对波峰、波谷和过渡带进行分类,然后采用随机行走模型对分类图像进行滤波,以获得整图的全局走向信息,再以此先验信息为先导对分类后的纹理图像进行定向跟踪拟合,得到代表海浪波峰的直线族图,最后在再对此图进行 HOUGH 变换和分析的基础上得到精确的波长与波向。

关键词 HOUGH 变换 海洋波浪 波浪峰

一、前 言

海洋是地球上最主要的构成形态之一。对海洋进行研究具有重大的意义。本文研究利用美国 1978 年发射的 SEASAT 卫星发回的海洋表面遥感图像(封四图 1)求取海浪的波长和方向。

海浪图像是一种特殊的纹理图像,其纹理基元是倾斜的条带。根据 BELL 实验室 Julesz 教授提出的人类视觉机理的假设,人类视觉系统在图形识别时按时间顺序分为两个过程。第一个是纹理视觉,它是一个“粗察系统”,能够瞬时地、并行地、不需要“努力”地检测到某些明显特征上的差别,而且不论这些特征在视野内什么地方,粗察系统均可将出现特征差别的地方检测出来;第二个过程,称为“细察系统”,引导在这些地方附近,对图形进行仔细分析,这个过程是串行的、耗时的^[1]。以前,有关海浪的研究工作,主要集中在频域方面,如 2D FFT^[2] 和 1D FFT^[3] 方法。2D FFT 法是将海浪图像映射到二维 FFT 平面,并在其中寻找主频位置即最大值点,由此计算出海浪的波长和方向。由于噪声的存在和主频不明显,极易产生误差,而用平滑法消除噪声又会引起主频位置的偏移,而产生更大的误差。1D FFT 法是将海浪图像在几个方向上($-45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$)进行再取样,用一维 FFT 代替二维 FFT,减少了运算时间。该法利用相关函数的峰值对波长进行检测,有效地抑制了噪声的影响,比前者具有较高的精度和速度。

已有的这两种方法,均从变换域入手分析海浪在频域上的特征。本文利用海浪的自然线条纹理特征,根据前面所述的人类纹理视觉假设,先对海浪图像进行走向信息的统计

(海浪的条纹形状与其走向是一致的),即粗察处理,再利用所得信息进行细察,以检测其产生纹理视觉的基元,即经过拟合得到的有一定长度的波峰线线段。HOUGH 变换是一种从空间域到参数域的变换,在检测线条和其它已知形状中具有很大的效用。将抽取的线段映射到 (ρ, θ) 的 HOUGH 变换域上,对 HOUGH 变换结果进行分析,以求得海浪的波长和方向。

二、海浪波峰区域抽取

由于海面情况复杂以及噪声的存在,海浪图像中的亮点是属于波峰、波谷还是过渡带是模糊的,不能用简单的阈值法抽取波峰区域。鉴于此,我们对海浪图像应用 CFCM 算法进行了模糊动态聚类分析。这种方法属于非监督分类,不需要训练样本,仅根据样本间的相似度进行合并归类,分类的自动化程度较高,且避免了人对识别过程的干涉^[4]。这是一种目标范函法,它根据聚类准则测量聚类的可信度,目标范函达到局部极值点时定义为最佳聚类。由于样本分布的几何形状一般是未知的,一般的聚类方法,如 FCM 法等,在样本分布未知时,只能选择固定的距离范数代替样本集的内在距离,从而带来了一定的分类误差,而我们所用的改进 FCM 法,即 CFCM 算法,对不同的类采用不同的距离范数形式,并不断地修改,使之尽量适合于每一类样本的几何分布形状,从而减小了分类误差^[4]。在给出初始中心后,算法按聚类准则使各样本向各中心聚类,反复进行修改聚类的迭代运算,直到得到最佳聚类,完成海浪波峰图像的抽取,抽取出的波峰图如图 2(封四)。

三、海浪纹理走向的粗略分析

数字图像中的纹理,是相邻像素的灰度或颜色在空间的相关性,或图像灰度颜色随空间位置变化的视觉表现。从视觉上来说,它可表现为边缘、形状、色块等。海浪图像呈现出大范围上的条纹状纹理性质,其纹理基元为倾斜的条带,倾斜的角度与海浪的整体条纹走向基本一致。利用这一点,我们参照纹理随机行走模型设计了一种方向滤波^[5],对经模糊聚类抽取的海浪波峰图进行处理,以统计其粗略的走向信息,同时获取细化的海浪波峰线图。

如图 3,对一海浪波峰区域 P_i ,其中轴方向与整个条带区域的走向是基本一致的。为此,我们作包含这个海浪区域的最小矩形,其对角线方向 ϕ 就与其中轴方向基本一致。对所有波峰区域进行这种处理,对其对角线方向 ϕ_i 以对角线长度进行加权平均,就可得到整图海浪波峰线的粗略走向,完成粗察。

为得到细化的海浪波峰线,我们对海浪波峰区域进行特定方向的类似行程编码的扫描,取扫描中点为细化点保留, $\phi > 45^\circ$, 采用垂直扫描, $\phi < 45^\circ$, 则采用水平扫描,在此,应用垂直扫描。得

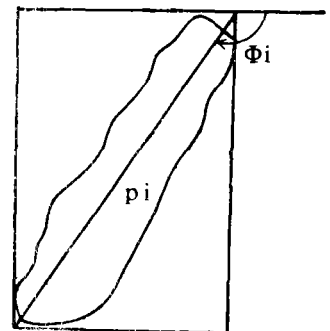


图 3 波峰线走向示意图
Fig. 3 Illustration of peak line orientation

到细化的海浪波峰线图(封四图 4)。这种细化图不保证完全连通性。

四、海浪波峰线段的定向跟踪

利用上述过程的结果进行分析,我们对位移较大方向的细化图,根据提取的粗略走向信息进行定向跟踪。对波峰线上的某点,在其按走向信息设定的一个条形区域内搜索下一点。跟踪结束后,为了消除噪声的影响,我们仅保留长度超过一定阈值的点序列,并对序列中的点进行最小二乘法拟合,得到代表海浪波峰纹理基元的线段图,图 5(封四)为图 4(封四)的波峰纹理基元线段图,至此,完成细察。

五、海浪波长与方向求取

首先对纹理基元线段图进行 HOUGH 变换。

HT 是 Paul Hough 于 1962 年提出的,最初用于分析汽泡室图像,后被 Rosenfeld 引入到图像处理中, Hesse 提出了海赛法线式: 直线可由法向距离 ρ 和朝向 θ 最有效地表征^[6]:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

此式将图像上的一条直线映射到参数空间上的一个点。图像上的一组等距平行线,在 (ρ, θ) 参数空间上呈现为一组 θ 相同的等距点。对于实际的海浪图像,由于海浪的纹理不是规则的平行等距直线,其方向和波长也是一种统计参数,因此,我们对图 5(封四)进行了 HOUGH 变换,得图 6(封四),并进行下述分析,以提高所提取的海浪波长与方向的精度。在这里,我们置原点于图像中心, $\theta \in [0, 360]$, $\rho \in [0, 200]$ 。

从 HOUGH 变换结果可以看到,海浪纹理基元在参数域上形成两组具有明显规律性的光斑群,它们分成两组是因为变换时原点在图像中间,引起原点上下两边的线段在参数 θ 上相差 180° 。关于 ρ 的分布具有模糊的周期性,这是海浪波峰线相距距离的周期性,在原点到波峰线距离 ρ 这一参数上的反映;而对 θ ,则明显地集聚在两个狭窄的条带内,每个 (ρ, θ) 处的亮度 $H(\rho, \theta)$,就是这组直线参数在海浪波峰线图上的显著性(即累计点数)。我们对此图像进行了统计分析,求取了海浪的波长与波向信息。

1. 波长

利用前面求出的走向信息为引导,在一定 $\theta(\theta_1 < \theta < \theta_2)$ 范围内进行统计,统计分别在 $0-180^\circ$ 和 $180-360^\circ$ 内进行:

$$H(\rho) = \sum_{\theta=\theta_1}^{\theta_2} h(\rho, \theta) \quad (2)$$

为减小噪声的影响,采用了语音抽取基音周期技术,令小于最大值一半的数据为零,保留数据的峰值,对 $H(\rho)$:

$$\text{如 } H(\rho) < \frac{1}{2} \max(H(\rho)) \text{ 则 } H(\rho) = 0 \quad (3)$$

求 $H(\rho)$ 的自相关函数 $R(\rho)$,

$$R(\rho) = \sum_{\lambda=0}^{\infty} H(\lambda)H(\lambda - \rho) \quad (4)$$

求出的 $R(\rho)$ 为一准周期函数(图 7), 对 $R(\rho)$ 作 FFT, 得到海浪对波长的功率谱, 可见在海浪主频处有一明显的峰值。对 $R(\rho)$ 用时间序列分析中的 BURG 算法^[7]求其隐周期, 就可以求得精确的海浪波长。

2. 方向

根据平行线 HOUGH 变换的特点, 其灰度对于法线方向呈对称分布, 即对于此角度, 下式值最小(统计分别在 $0-180^\circ$ 和 $180-360^\circ$ 内进行):

$$H(\theta) = \sum_{\rho=0}^{\infty} \sum_{\psi=\theta_1}^{\theta} h(\rho, \theta) \times |\psi - \theta| \quad (5)$$

$H(\theta)$ 最小值所在的点 θ , 就是海浪 HT 图像关于 θ 的加权平衡点, 我们定义这一点的 θ 为海浪的法向参数。

六、实验结果

我们处理的对象是 128×128 的 SEASAT 海浪图像(封四图 1), 所有相应图像均对应于此图。对原图应用 CFCM 聚类后, 我们进行粗略走向信息求取, 得海浪波峰线粗略走向为 -110° (如图 3 所示坐标系), 并求得细化的海浪波峰线图, 对此图进行定向

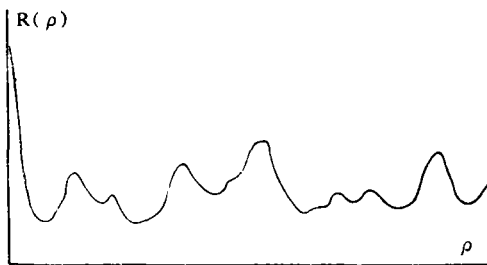


图 7 自相关函数

Fig. 7 Auto-correlation of $H(\rho)$

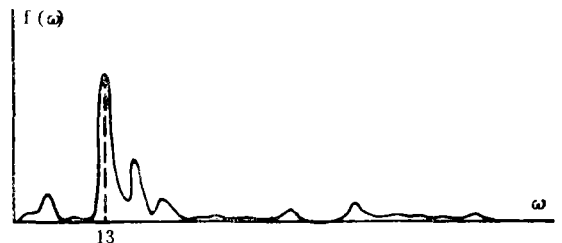


图 8 自相关谱

Fig. 8 Spectrum of Auto-correlation

跟踪, 取搜索平行四边形 $D = 6(\text{pixel})$, $\phi = 110^\circ$, $L = 3(\text{pixel})$, 保留长度大于 $6(\text{pixel})$ 的线段, 得波峰线段图如图 5 (封四), 对它进行 HOUGH 变换, 得图 6 (封四), 对此图进行上述统计分析, 进行峰值抽取后得到自相关函数如图 7, 海浪功率谱为图 8。可见在对应波长为 $10.5(\text{pixel})$ 左右处有一最大峰值, 用 BURG 法在阶数为 4 时求得最佳周期为 $10.81(\text{pixel})$, 我们这里所用的遥感图像比例尺为 $1:256(\text{pixel}/\text{m})$, 因此换算成实际波长为 276.75m 。对 θ 进行统计, 求得其最小值点处的波向 $\theta = 110.0^\circ$ (按进行 HOUGH 变换的坐标系)。至此, 得到海浪的精确波长和波向。

七、讨 论

在实验过程中,我们遇到的主要问题是 HOUGH 变换对噪声的敏感性,定向跟踪就是用来抽取有明显物理意义的海浪波峰线段基元以消除噪声的影响,但这种抽取方法有一定的局限性,一是只有在单一浪或混合浪主波波向局限于一较小范围的情况下才能得到满意的结果,二是可能要丢失一些原图的信息,如较短的波峰线段,从而影响了此方法精确度的稳定。对此,在以后的研究工作中,一方面可以改进定向跟踪的约束或采用其它更好的方法消除噪声、抽取纹理基元信息,另一方面可以尝试在改进图像质量后采用灰度 HOUGH 变换进行分析。

八、结 论

本文提出了一种基于 HOUGH 变换的海浪波长波向分析法,对 SEASAT 合成孔径雷达获取的海洋遥感图像进行波向和波长的分析。该方法首先应用 CFM 动态聚类方法对波峰、波谷和过渡带进行分类,然后采用随机行走模型对分类图像进行滤波,以获得整图的全局走向信息,以此先验信息为先导对分类细化后的纹理图像进行定向跟踪拟合,得到代表海浪波峰的直线族图,最后对此图进行 HOUGH 变换,对 HOUGH 变换的结果进行 ρ 的分布加权统计,并求其自相关函数,对此统计结果应用 BURG 的算法进行隐含周期抽取,得到精确的波长。对于方向,根据平行直线族 HOUGH 变换的特点,求 HOUGH 变换图像关于角度的灰度加权平衡点,以此角度 θ 作为海浪的精确方向。本方法接近人类对纹理的自然视觉,因而取得了预计的效果。

参 考 文 献

- [1] B.Julesz, Textons, the fundamental elements in preattentions vision and perception of texture, The Bell System Technical Journal., cl-63, p.1619, 1983.
- [2] Wu Jian-kang, J.O. Thomas, The Measurement of Ocean Wave from Seasat Synthetic Aperture Rader Imagery, 中国科技大学学报, 增刊 1981.
- [3] 孙京生、刘政凯,利用 seasat SAR 图像分析海浪的一种新方法,电子科学学刊, 10(6), 1988。
- [4] 赖海宁,积雪动态监测信息系统 SDMIS 及其模糊聚类分析,硕士研究生毕业论文,中国科学技术大学, 1988 年 10 月。
- [5] 李月景编著,图像识别技术及其应用,机械工业出版社。
- [6] J. Illingworth and J. Kittler, A Survey of the Hough Transform Computer vision, graphics, and image processing, 44, 1988.
- [7] 施仁杰、卢科学编著,时间序列分析引论,西安电子科技大学出版社, 1988 年。

Application of HOUGH Transform in Analyzing Ocean Wave From Seasat SAR Image

Liu Zhengkai Bi Yalei

(Information Center, University of Science and Technology of China)

Huang Runheng

(Center for Environment Prediction, National Oceanic Bureau)

Abstract

A new method based on HOUGH transform for analyzing ocean wave from SEASAT SAR image is presented here. This method takes the way which human vision takes to analysis nature texture image, after extracting the peak area from the SEASAT SAR image with CFM classification method, we use random-go model to filter the classified image in order to obtain the global direction information of sea wave in the whole image. Then, according to this information, a directional tracking algorithm is used to extract the line group that represent sea wave peak line, finally, the extracted wave peak line group image is mapped into HOUGH transform domain. Statistic and analysis are undergone then to obtain the precise wave length and direction. Because it takes a way similar to human vision to analysis nature texture image, this new method gives an expected good performance. Experiment result is also presented here.

Key words HOUGH transform ocean wave sea wave peak

刘政凯等: HOUGH 变换在海浪遥感图像处理中的应用

Liu Zhengkai et al.: Application of HOUGH Transform in Analyzing Ocean Wave from Seasat SAR Image

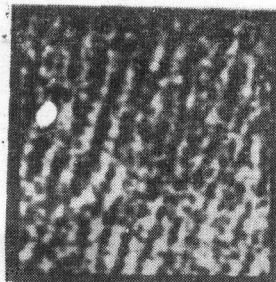


图1 原始图像

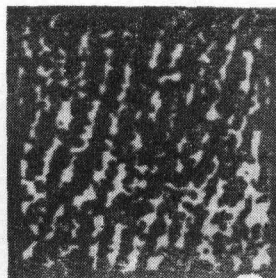


图2 分类后波峰区域图

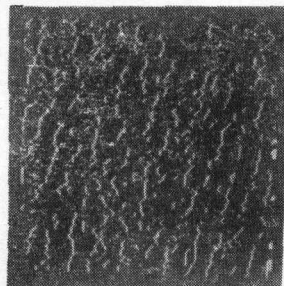


图4 细化波峰线图

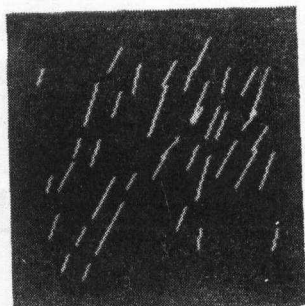


图5 波峰线段图

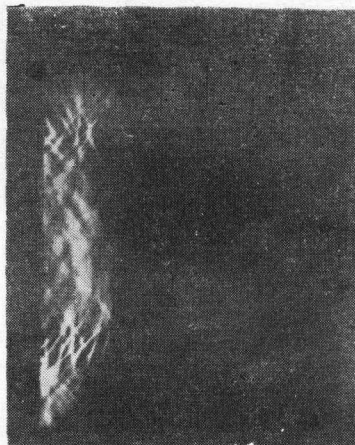


图6 HOUGH 变换结果

REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT CHINA

(Quarterly)

Vol. 6 No. 1 1991

环境遥感

(季刊)

1991年 第6卷 第1期

Editor: The Geographical Society of China, Sub-Commission on Environmental Remote Sensing P. O. Box 775, Beijing, China,

主 办 中国地理学会环境遥感分会 (北京市德胜门外北沙滩 917 大楼) 邮政编码 100012

Publisher: Science Press 16, Donghuang chenggenbeijie Street, Beijing, 100707, China

主 编 童 庆 禧 出 版 科 学 出 版 社 (北京东黄城根北街 16 号)

Distributed Abroad: China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian) P. O. Box 399, Beijing, China

印刷装订 中国科学院印刷厂 总发行处 北京市邮政局 订购处 全国各地邮局 国外总发行 中国国际图书贸易总公司 (中国 国际书店) 北京 399 信箱

公开发行 国内统一刊号: CN11-1833 国内邮发代号: 82-324 国外刊号: Q1002 定价: 6.00 元