

# 海洋波浪图象波长和方向信息提取的 傅里叶数字变换纹理分析技术

徐建华 梁景怡

(复旦大学计算机科学系)

## 摘 要

本文对海洋波浪图象作数字纹理分析,用二维快速傅里叶变换(2D FFT)提取海浪图象处理窗口内的功率谱,并据此获得处理窗口内海浪的波长和方向信息,最终获得局部海域的波浪波长和方向的分布。这些结果可以作为海洋工程、海浪预报、港口建设、海洋渔业等领域研究的基础。

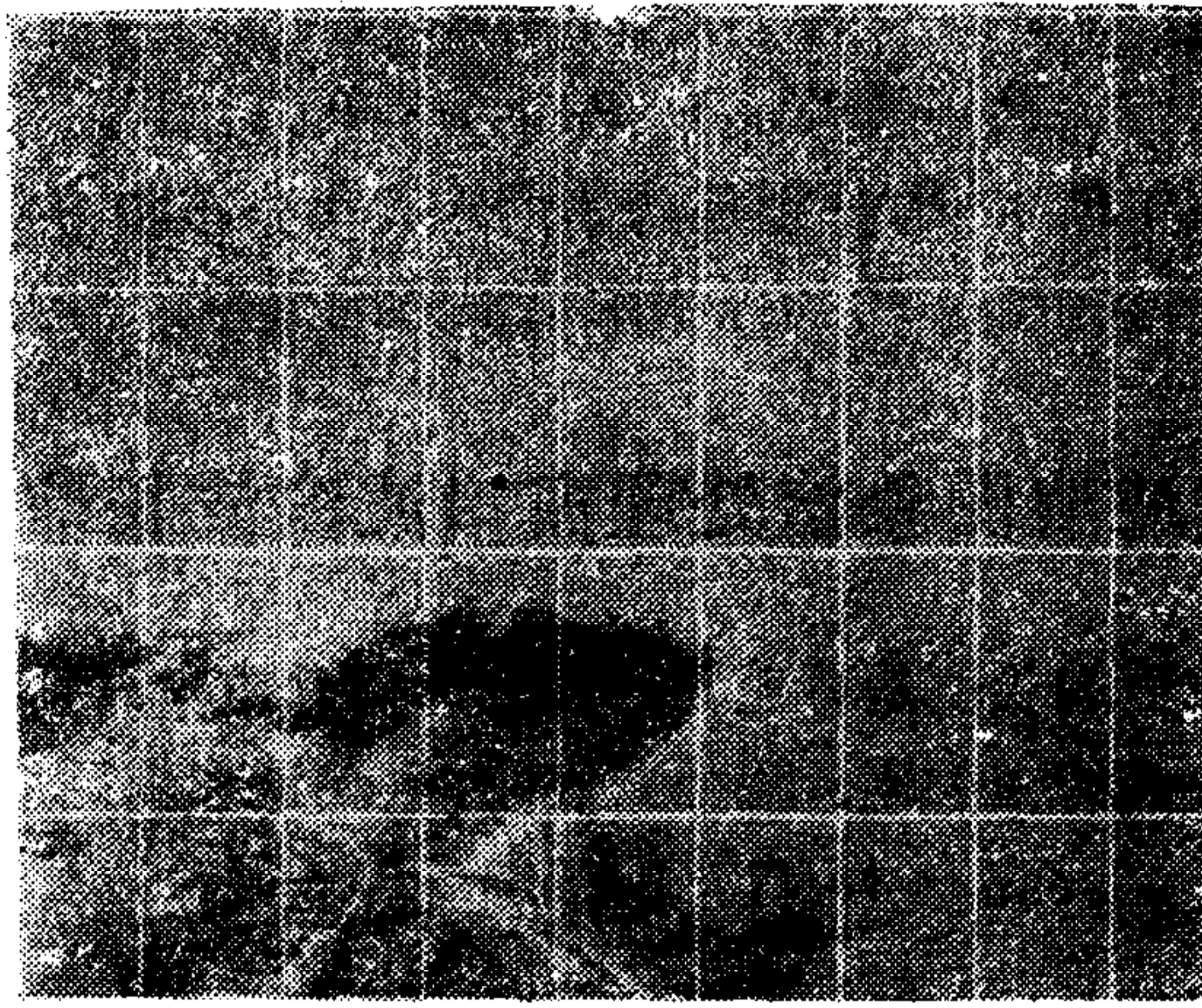
**关键词**——数字变换纹理分析,波浪波长和方向,处理窗口。

海洋波浪的波长和方向信息的提取是海洋科学技术中十分重要的课题,波浪图象功率谱又是海浪分析的重要依据。用数字图象纹理分析技术直接从海洋波浪图象(遥感航空照片或在某观察点摄取的海浪图象)获得波浪的功率谱和波长、方向信息是一种获取海洋波浪信息的新工具。

## 一、处理窗口的决定

海洋波浪图象是纹理型的。所谓纹理,是指图象中呈现的局部模式和它们的排列规则。海浪图象是一种宏纹理结构<sup>[2]</sup>,它由作为局部模式的纹理基元——波浪所构成。所谓处理窗口,是指图象的一个矩形局部。对这个局部作数字纹理分析,以获得局部模式及其排列规则的信息。如果处理窗口选择得太大,会使同一窗口内含有若干类不同大小和排列规则的纹理基元,亦即若干类不同的波长、方向的波浪,致使分析的结果不明确。选择太小的处理窗口,又会使一个图象窗口内包含很少几个纹理基元,致使得到的纹理基元排列规则的分析缺乏依据。一般可以根据获得的海洋图象的分辨率适当选取处理窗口的尺寸。记  $W_{N,M}$  为处理窗口;  $N, M$  分别是窗口的长和宽。图1是我国某海港的航空照片,白线条矩形框所围是处理窗口  $W_{N,M}$ 。

处理窗口  $W_{N,M}$  中,一般取  $N = M$ ,可简化为  $W_N$ 。

图1 某海港航空摄影取得的海洋波浪图象和处理窗口  $W_{N \times M}$ 

## 二、海洋波浪图象诸处理窗口图象功率谱的提取

设  $[f(x, y)]$  ( $x, y = 0, 1, 2, \dots, n-1$ ) 是海浪图象某处理窗口  $W_N$  的采样矩阵。经二维 FFT 得

$$[F(u, v)] \quad (u, v = 0, 1, 2, \dots, n-1).$$

其中

$$F(u, v) = \frac{1}{n^2} \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} f(x, y) \exp\{-j2\pi(ux + vy)/n\}. \quad (1)$$

$[f(x, y)]$  的功率谱矩阵为  $[P(u, v)]$  ( $u, v = 0, 1, 2, \dots, n-1$ )。其中

$$P(u, v) = F(u, v)F^*(u, v). \quad (2)$$

处理窗口  $W_N$  的功率谱矩阵在海洋波浪分析中起着十分重要的作用。对于较小的  $u, v$  值对应的  $P(u, v)$  值, 即功率谱的低频分量, 对应于海浪较长波长的波浪; 对较大的  $u, v$  对应的  $P(u, v)$  值, 即功率谱的高频分量, 对应于海浪较短波长的波浪。容易证明, 功率谱高值分布区模式的方向与波浪走向垂直。这就为波长和方向的提取提供了基础。

将(2)式变换到极坐标系  $(r, \varphi)$ , 得到  $[P(r, \varphi)]$  ( $r = r_1, r_2, \dots, r_n; \varphi = \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n; r_{i+1} - r_i = \mathscr{W}/2n; \varphi_{i+1} - \varphi_i = \pi/n_3, j = 1, 2, \dots, n-1$ )。  $\mathscr{W}$  为处理窗口  $W_{N, M}$  的半径。例如若  $N = M$ , 则  $\mathscr{W} = N/2$ 。

在  $(r, \varphi)$  平面上, 固定  $r$ , 对  $\varphi$  求和, 由对称性得到

$$P_1(r) = 2 \sum_{i=1}^n P(r, \varphi_i), \quad (r = r_1, r_2, \dots, r_n). \quad (3)$$

固定  $\varphi$ , 对  $r$  求和得到

$$P_2(\varphi) = \sum_{i=1}^n P(r_i, \varphi), \quad (\varphi = \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n). \quad (4)$$

$$\text{记 } \mathbf{P}_1 = [P_1(r_1) \ P_1(r_2) \cdots P_1(r_n)]^T, \quad (5)$$

$$\mathbf{P}_2 = [P_2(\varphi_1) \ P_2(\varphi_2) \cdots P_2(\varphi_n)]^T. \quad (6)$$

由(5)、(6)式表示的  $\mathbf{P}_1$  和  $\mathbf{P}_2$  分别是功率谱的频率分布和方向分布特征向量。利用  $\mathbf{P}_1$  可以提取海浪波长信息；利用  $\mathbf{P}_2$  可以提取海浪方向信息。

### 三、海洋波浪图象诸处理窗口波浪波长信息的提取

由于在  $W_N$  内诸波浪的长度是有差异的，故选择对功率谱频率分布特征向量贡献最大的那个分量作为  $W_N$  内的主频率。用公式表示，也就是求满足下列条件的  $r_{WL}$

$$r_{WL} = \{r: P_1(r) = \max_{1 \leq i \leq n} P_1(r_i)\}. \quad (7)$$

由于低频对应较长海浪波长，因此波长主分量  $\lambda_{WL}$  为

$$\lambda_{WL} = k_1 / r_{WL}. \quad (8)$$

式中  $k_1$  是某一常数； $\lambda_{WL}$  是  $W_N$  窗口内海洋波浪波长的主分量。

为了更全面地分析诸处理窗口内海浪的波长，可用下式求  $W_N$  内波长次分量  $\lambda_{WL}^*$

$$r_{WL}^* = \{r: P_1(r) = \max_{\substack{1 \leq i \leq n \\ r_i \neq r_{WL}}} P_1(r_i)\}, \quad (9)$$

$$\lambda_{WL}^* = k_1 / r_{WL}^*. \quad (10)$$

由于诸相邻处理窗口的波长具有一定的连续性，在分别求得诸处理窗口的波长主分量和次分量以后，应根据诸窗口内主波长作为最终的整个分析海区的波长；但是对于与相邻窗口不连续变化的波长主分量，用次分量往往会取得更好的结果。

为消除随机干扰而引起的失真，在  $P_1(r)$  的局部极值点  $r_l$  ( $l = 1, 2, \cdots, m$ ) 的某邻域  $Q_l$  内作平均，得到  $P_1(r)$  在  $r_l$  的平均值

$$\bar{P}_1(r_l) = \frac{1}{\#Q_l} \sum_{r_i \in Q_l} P_1(r_i). \quad (11)$$

式中  $\#Q_l$  表示  $Q_l$  内含的  $r_i$  分点个数。然后分别求平均主频率和次频率

$$\bar{r}_{WL} = \{r_l: \bar{P}_1(r_l) = \max_{1 \leq i \leq m} \bar{P}_1(r_i)\}, \quad (12)$$

$$\bar{r}_{WL}^* = \{r_l: \bar{P}_1(r_l) = \max_{\substack{1 \leq i \leq m \\ r_l \neq \bar{r}_{WL}}} \bar{P}_1(r_i)\}. \quad (13)$$

最后得到处理窗口  $W_N$  内波长主分量和次分量

$$\bar{\lambda}_{WL} = k_2 / \bar{r}_{WL}, \quad (14)$$

$$\bar{\lambda}_{WL}^* = k_2 / \bar{r}_{WL}^*. \quad (15)$$

式中  $k_2$  是常数。

### 四、海洋波浪图象诸处理窗口波浪方向信息的提取

由  $W_N$  内图象功率谱提取该窗口内海浪方向的基础是：功率谱较大值所在的  $(r, \varphi)$  值区域模式与  $W_N$  内海浪图象模式——波浪的方向相互垂直。

在  $W_N$  内, 求功率谱较大值分布的主方向

$$\varphi_{WD} = \{\varphi: P_2(\varphi) = \max_{1 \leq i \leq n} P_2(\varphi_i)\}. \quad (16)$$

$W_N$  内海浪主方向为

$$\theta_{WD} = \varphi_{WD} + \pi/2. \quad (17)$$

$W_N$  内功率谱较大值分布的次方向为

$$\varphi_{WD}^* = \{\varphi: P_2(\varphi) = \max_{\substack{1 \leq i \leq n \\ \varphi \neq \varphi_{WD}}} P_2(\varphi_i)\}. \quad (18)$$

$W_N$  内海浪次方向为

$$\theta_{WD}^* = \varphi_{WD}^* + \pi/2. \quad (19)$$

海浪次方向的作用与上述海浪次波长类似, 在相邻窗口的方向出现不连续变化时, 用次方向代主方向. 与  $W_N$  波长分析类似, 对  $P_2(\varphi)$  在局部极值点邻近作平均处理, 然后提取  $W_N$  内海浪主方向和次方向, 可以防止随机干扰的影响.

式(8), (10), (14)和(15)中的系数  $k_1$  和  $k_2$ , 可根据海洋物理原理, 由实测数据估计而得. 海洋波浪波长和方向的数字变换纹理分析算法框图如图 2 所示.

对局部海域航空遥感图象作数字纹理分析的结果表明, 本算法是有效的. 对于大陆架近海岸的海洋波浪波长作纹理分析, 其结果是接近海岸的波长较短, 远离海岸的海浪波

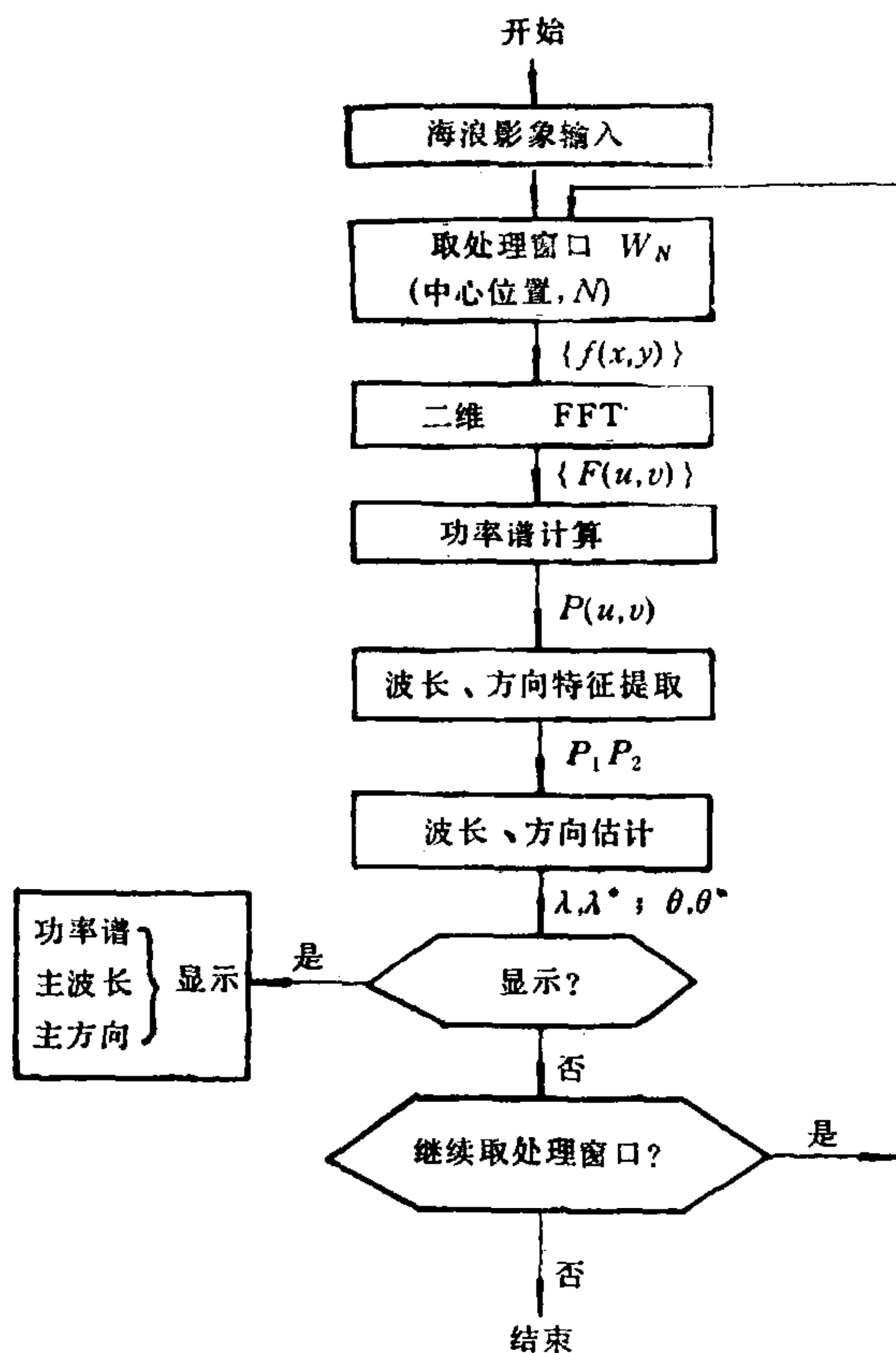


图 2 海浪图象波长和方向纹理分析算法框图

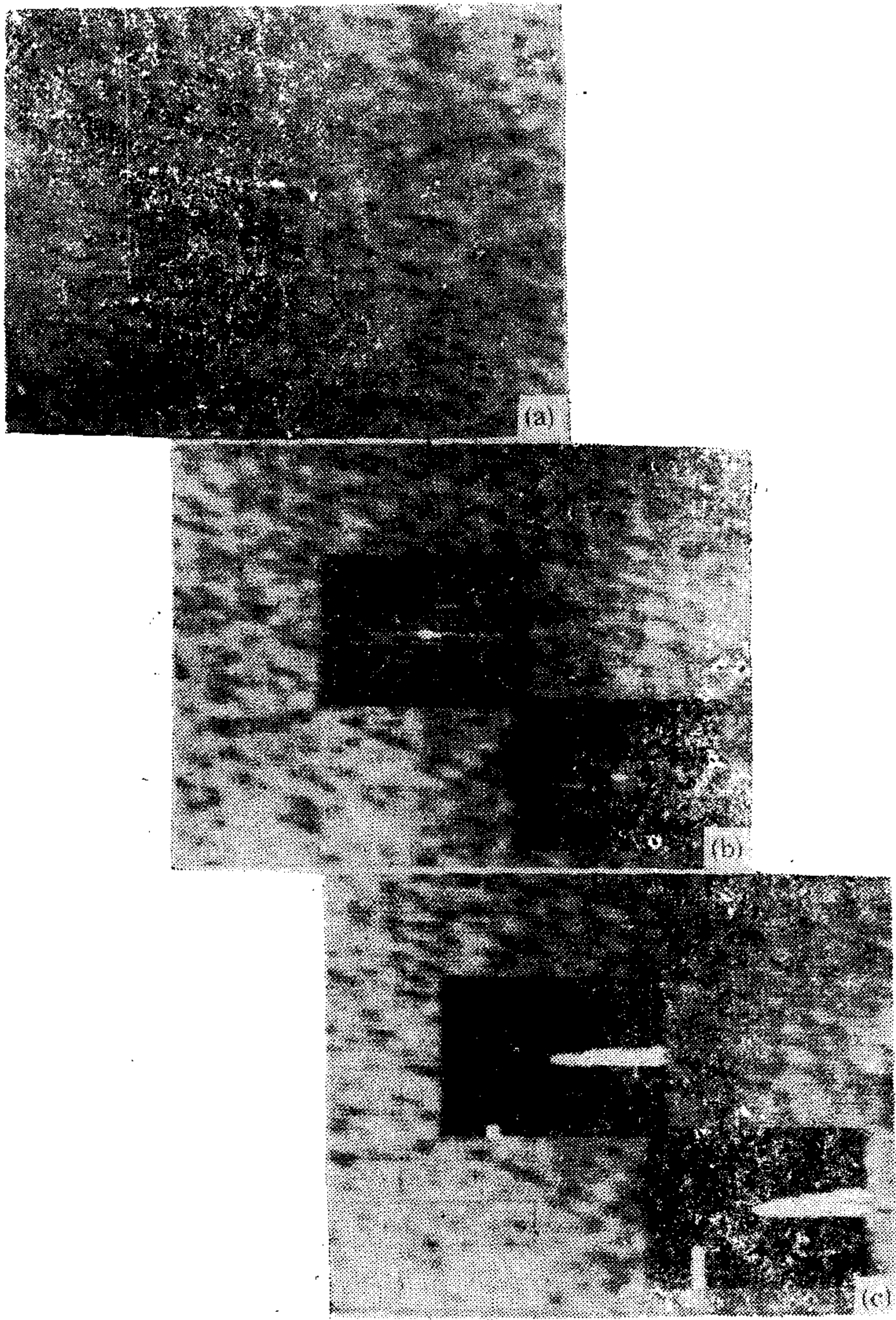


图 3 海浪图象波长和方向分析结果显示

长较长，这与海洋物理中波浪波长与水深的定性关系是吻合的。

图 3 是分析结果显示的例子。(a)是图 1 的一个局部区域；(b)是处理窗口  $W_N$  内海浪图象经二维 FFT 和功率谱计算后得到的功率谱强度显示；(c)是  $W_N$  内海浪主波长(左下角)和主方向显示， $N = 64$  (像素)。

由于本方法对每个处理窗口的分析可以并行进行，加上 FFT 已可以用 VLSI 实现，因此本方法可以用硬件快速实现，具有实时处理功能。

本研究工作得到山东海洋大学刘智深、贺明霞教授的帮助，他们为笔者提供了航空影像和物理意义的解释。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Rosenfeld, A. Image Analysis: Progress, Problems, and Prospects, Proc. of 6th International Joint Conference on Pattern Recognition, 1982, 7—15.
- [ 2 ] Haralick, R. M., Statistical and Structural Approaches to Texture, *Proc. of IEEE*, 67(1979), 5, 45—69.
- [ 3 ] Bajcsy, R., Computer Description of Textured Surfaces, Proc. of 3rd International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1973, 572—579.

## A DIGITAL FOURIER TRANSFORM BASED TEXTURE ANALYSIS FOR THE EXTRACTION OF WAVE LENGTH AND DIRECTION FROM OCEAN WAVE IMAGE

XU JIANHUA LIANG JINGYI

(Fudan University)

## ABSTRACT

A digital texture analysis technique of ocean wave image is presented. The spectrum in the processing window of ocean wave image is extracted by two-dimensional FFT. In accordance with it, the features of ocean wave length and direction in the processing window are obtained. This technique can provide an applicable bases in the areas of oceanics, ocean wave forecast, port construction, and ocean fishery research.

**Key words** ——Digital transform texture analysis; ocean wave length and direction; processing window.