

波浪波长和方向提取的图像 纹理分析技术*

徐建华 郑君伟

(复旦大学计算机科学系)

1988年3月1日收稿

摘 要

传统的波浪波长和方向分析技术是谱分析。本文从海洋波浪图像直接作图像纹理分析,在图像的每一个处理窗口,以海浪图像灰度极值点大小、个数的分布和灰度共生矩阵为基础,构造了借以区分不同海浪波长和方向的纹理测度,实现提取海浪波长和方向信息。

关键词 纹理分析 频谱分析 图像空间域 局部极值 灰度共生矩阵 纹理测度 海洋波浪图像

一、引 言

海洋波浪的波长和方向信息的提取,在海洋科学中一直是一项十分关键的技术。传统的波长和方向分析是对海浪作频谱分析。利用数字图像理解的纹理分析技术,直接从海洋波浪图像(航空遥感像片或某观察点摄取的海洋波浪图像)提取波长和方向信息是一种新的尝试。它是海洋工程、港口建设、海洋渔业、军事侦察等领域的应用基础。例如,利用港口海浪图像,通过纹理分析提取港口各水域的波浪波长分布,可以推断港口水深分布,从而获得港口建设的基础数据。利用海域波浪方向分布信息可以预测海浪,预报鱼群的走向。

在一定距离内摄取的海浪图像,波浪灰度变化的模式被看成三维空间中的一个曲面;海浪是由众多的这类灰度曲面构成的。从宏观上看,某一海域的海浪图像中,这类灰度曲面是反复出现的,并依一定的规律排列。我们感兴趣的并不是单个波浪灰度曲面,而是众多的灰度曲面(反复出现的局部模式)和它们的排列规则。局部模式(波浪灰度曲面)的大小对应于海浪波长的大小;局部模式的排列规则(诸波浪灰度曲面的空间位置分布)对应于海浪方向。

所谓纹理是指图像中反复出现的局部模式和它们的排列规则。海浪图像是一种纹理型图像,它由作为局部模式的纹理基元——波浪灰度曲面所构成^[1]。考察纹理基元的模式形态,测量、分析它们的排列规则,就能得到波浪的波长大小和方向的宏观规律。

* 本研究为国家自然科学基金资助课题。山东海洋学院刘智琛、贺明霞为本研究提供了图片和物理意义的解释,特此致谢。

我们用各个波浪灰度曲面的局部极值分布,包括极值的大小和个数,作为提取波浪波长信息的纹理测度。利用灰度共生矩阵 (Grey-Level Co-Occurrence Matrices)——在某方向上,相邻某间隔长度的一对像素各自属于什么灰度范围,具有这类属性的像素对的个数分布——作为提取波浪方向的纹理测度。

二、图像窗口的选择

对于各种不同分辨率的海洋波浪图像,为了得到各局部区域海浪波长和方向的分布,首先要选定我们借以提取方向和波长信息的最小单位——图像窗口。然后对每一个图像窗口作波浪波长和方向的纹理分析。

图像窗口是指含有 N 行 N 列像素的图像局部,一般用 W_N 表示。图 1 是在某海港由航空摄影取得的海洋波浪图像,黑线方框所围区域是图像处理窗口 W_N 。

选择的图像窗口过大,会使同一窗口内含有若干类不同波长或方向的纹理基元——若干不同波长或方向的波浪,造成分析结果不明确;选择的窗口过小又会使图像窗口内包含不了一个完整的纹理基元,使海浪信息不完整,这不仅会使结果发生错误,而且还增加了分析的工作量。因此窗口大小的决定是至关重要的。

图像窗口大小的决定一般根据下列原则:(1)根据业务需要确定允许

的最大和最小图像窗口尺寸。(2)根据图像分辨率的大小,使所选的图像窗口内至少包含若干纹理基元,并使窗口尺寸在(1)限定的范围内。

纹理分析窗口分布形式一般是等大小、不重叠的;也可以选择具有相同重叠部分的重叠窗口。重叠窗口纹理分析的结果,表示图像窗口中心位置的海浪方向。

三、波长信息的提取

为了滤除随机噪声,抑制不能反映主波长的那些随机波浪,在每一个处理窗口,首先对波浪灰度曲面的灰度波形作波形变换,获得与变换参数 T 相关的极值个数 $L(T)$,它们与海浪波长有密切的关系。基于 $L(T)$,我们构造了借以区分不同海浪波长的纹理测

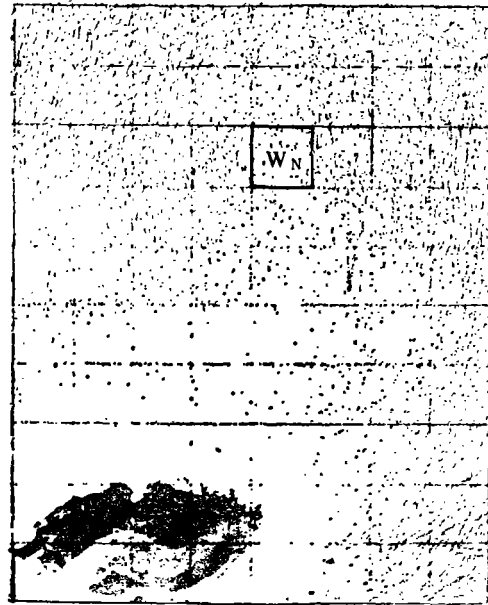


图 1 在某海港由航空摄影取得的海洋波浪图像和处理窗口 W_N

Fig. 1 Ocean wave image and its processing window W_N photoed from certain harbour

度。

1. 处理窗口内海浪起伏波形的获得和波形变换

处理窗口 W_N 实际上是一个由 $N \times N$ 个像素组成的矩阵, 矩阵元素就是图像的灰度值。从矩阵的第一行开始, 自左至右将元素作行排列, 排完第一行后, 将第二行第一个元素紧接在它的后面, ……直至最后一行 (第 N 行) 的最后一个元素排完为止。也就是说 W_N 内图像矩阵可表示为

$$F_N = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \cdots f_{1N} \\ f_{21} & f_{22} \cdots f_{2N} \\ \vdots & \vdots \\ f_{N1} & f_{N2} \cdots f_{NN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

将(1)式表示的矩阵排列成行向量:

$$f_{N^2} = [f_{11}, f_{12}, \cdots, f_{1N}, f_{21}, f_{22}, \cdots, f_{2N}, \cdots, f_{N1}, f_{N2}, \cdots, f_{NN}] \quad (2)$$

我们称 f_{N^2} 是 F_N 的字典顺序向量 (Lexicographically Ordered Vector)。 F_N 是 $N \times N$ 矩阵, f_{N^2} 是 N^2 维向量。

为简单起见, 把 f_{N^2} 简记为序列

$$\{x_k, k = 1, 2, \cdots, m\} \quad (3)$$

其中 x_k 对应于 $f_{i,j}, m = N^2$ 。

下面, 我们用(3)式所示的序列 $\{x_k, k = 1, 2, \cdots, m\}$ 来分析图像窗口 W_N 内海浪的波长。

由于换行扫描和随机干扰的存在, $\{x_k, k = 1, 2, \cdots, m\}$ 往往不能精确地描述海浪实际的起伏。我们引进如下依赖于参数 T 的波形变换^[2]:

$$\begin{aligned} & \{x_k\} \rightarrow \{y_k\} \\ & y_{k+1} = \begin{cases} x_{k+1} - T/2 & \text{若 } y_k < x_{k+1} - T/2 \\ y_k & \text{若 } x_{k+1} - T/2 < y_k < x_{k+1} + T/2 \\ x_{k+1} + T/2 & \text{若 } x_{k+1} + T/2 < y_k \end{cases} \\ & (\text{初值: } y_1 = x_1) \end{aligned} \quad (4)$$

变换前后的波形变化如图 2 所示[取(3)式序列的一段]。

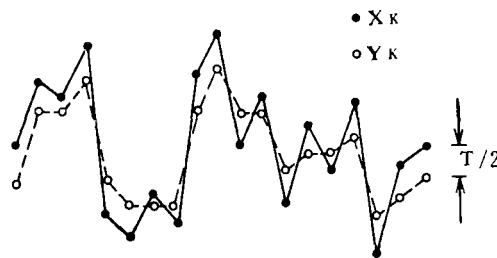


图 2 对图像窗口内波形 (x_k) 作变换(依赖于 T) 后的结果 (y_k)

Fig. 2 Input waveform x_k and output waveform y_k for transformation

$\{x_k, k = 1, 2, \dots, m\}$ 经(4)式定义的变换后,成为序列 $\{y_k, k = 1, 2, \dots, m\}$ 。显然变换的结果依赖于 T 的大小,因此变换结果也可表示为 $\{y_k(T), k = 1, 2, \dots, m\}$ (5)

波形变换后,极大、极小值点的个数随着 T 的不同也发生变化。

记 $\{y_k(T), k = 1, 2, \dots, m\}$ 的局部极大、极小值点的个数为 $L(T)$, 不同的 T 值对应的 $L(T)$ 是不同的, 它反映了纹理基元属性——极值的相互依赖关系。我们取 $L(T)$ 随 T 变化的关系曲线, 作为海浪图像窗口 W_N 内弱纹理分析测度的基础。

图 3 表示灰度波形取不同 T , 经(4)式变换以后所得局部极值点个数 $L(T)$ 随着 T 的不同而变化的规律。

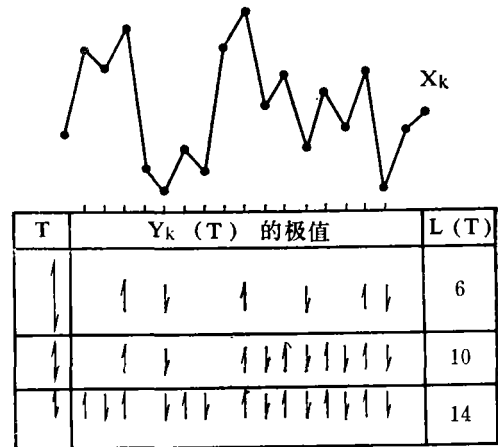


图 3 三个不同门限值 T 所对应的 $L(T)$ 值
Fig. 3 $L(T)$ values corresponding to the different three thresholds of T

2. 区分不同波长的纹理测度的决定

海洋波浪波长提取的纹理测度应具有下列三个特点:

- (1) 可区分不同波长;
- (2) 同一波长的海浪图像在不同光照条件下 (例如不同的太阳高度 $\text{tg } \theta$, 相机的不同俯、仰角), 其分析结果应当一样;
- (3) 同一波长的海浪图像, 在不同图像分辨率条件下, 其分析结果应当一样。

首先, 对处理窗口图像灰度序列 $\{x_k, k = 1, 2, \dots, m\}$ 作对数变换, 得

$$\{\log x_k, k = 1, 2, \dots, m\} \quad (6)$$

以(6)式的序列作为波形变换的输入依(4)式作变换所得到的 $L(T)$ 在不同光照条件下是不变的。这是显然的, 因为在不同照度条件下的灰度可表示为 cx_k , c 与照度有关, 对于作对数变换后的序列(6), 进行取局部极值运算, 其本质是差分运算:

$$\log(cx_{k+1}) - \log(cx_k) = \log x_{k+1} - \log x_k \quad (7)$$

也就是说, 在求局部极值点的过程中, 不管 c 的大小如何, 其结果都是相同的。

为了使纹理分析的结果在分辨率变化条件下保持不变, 取 l 个门限值 $\{T_1, T_2, \dots, T_l\}$, 用其中一个门限 T_i 对应的极值个数 $L(T_i)$ 与另一个门限 T_j 对应的极值个数 $L(T_j)$ 之比

$$L_{i,j}^* = L(T_i) / L(T_j) \quad \left(\begin{matrix} i, j = 1, 2, \dots, l \\ i \neq j \end{matrix} \right) \quad (8)$$

来代替 $L(T)$ 作为纹理测度。

(8) 式的 $L_{i,j}^*$ 共有 $c_i^2 = \frac{l(l-1)}{2}$ 个, 形成 c_i^2 维纹理特征向量 F :

$$F = [L_{1,2}^* L_{1,3}^* \dots L_{1,l}^*, L_{2,3}^*, L_{2,4}^* \dots L_{l-1,l}^*]^T \quad (9)$$

最终, 我们取(9)式表示的特征向量 F 作为弱结构纹理测度, 来分析 W_N 窗口内海浪的波长, 它具有关于照度和分辨率的不变性质。

图 4 是本方法的处理框图, 其中的“直方图均衡”是图像增强算法^[3], 可使输入图像质量得到改善。先将已知波长的图像作为训练样本, 得到各类波长海浪的特征向量 F 。

在训练结束后, 对输入海浪图像取处理窗口 W_N , 作直方图均衡, 改善图像质量, 然后选择参数 $\{T_i, i = 1, 2, \dots, l\}$ 输入系统, 由(9)式决定的纹理测度 F 作为特征向量, 用三近邻判别法^[4]作模式分类。

3. 试验结果举例

取两类不同波长的海浪图像。令 $l = 7$, 门限序列 $\{T_i, i = 1, \dots, 7\}$ 的值为 $\{130, 110, 90, 70, 50, 30, 70\}$, 处理窗口 W_N 的中心坐标分别列在了图 5(a) 和 5(b) 的右上角。取 $N = 64$, 窗口大小为 64×64 (像素), 所置门限值 T 和对应的极值点个数 $L(T)$ 分别列在了图 5(a), 5(b) 的上部。(9) 式决定的特征向量 F 是 $c_i^2 = 21$ 维的, 它的第 i 个分量用 Feature (i) ($i = 1, 2, \dots, 21$) 来表示, 分别列于图 5(a) 和 5(b) 的中部。三近邻分类器的类间距离在图 5(a) 和 5(b) 的最下部。分类结果见最下方。试验表明: 纹理分析的结果与实际测量值符合。

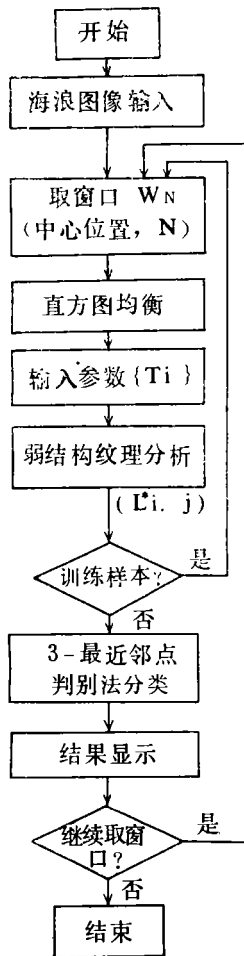


图 4 波长信息提取纹理分析框图

Fig. 4 Diagram of the Texture analysis for wave length 量值符合。

我们可以把待分析的图像 $\{f(x,y); x,y = 1,2,\dots,N\}$ 理解为从 $L_x \times L_y$ 到 G 的一个映照。也就是说,对 $L_x \times L_y$ 的每一点,对应一个属于 G 的灰度。

定义方向为 θ , 间隔为 d 的灰度共生矩阵为^[5]

$$[P(i,j,d,\theta)] \quad (13)$$

式中: $(i,j) \in G \times G$; $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$; 角度以 OX 轴为起始, 逆时针方向计算。

对不同的 θ , 矩阵元素的定义如下:

$$\begin{aligned} P(i,j,d,0^\circ) &= \#\{(k,l),(m,n) \in (L_y \times L_x) \times (L_y \times L_x) \\ &\quad |k-m=0, |l-n|=d; f(k,l)=i, f(m,n)=j\} \\ P(i,j,d,45^\circ) &= \#\{(k,l),(m,n) \in (L_y \times L_x) \times (L_y \times L_x) \\ &\quad |(k-m=d, l-n=d) \text{ 或 } (k-m=-d, l-n=-d); \\ &\quad f(k,l)=i, f(m,n)=j\} \\ P(i,j,d,90^\circ) &= \#\{(k,l),(m,n) \in (L_y \times L_x) \times (L_x \times L_x) \\ &\quad |k-m=0, |l-n|=d; f(k,l)=i, f(m,n)=j\} \\ P(i,j,d,135^\circ) &= \#\{(k,l),(m,n) \in (L_y \times L_x) \times (L_y \times L_x) \\ &\quad |(k-m=d, l-m=-d) \text{ 或 } (k-m=-d, l-m=d); \\ &\quad f(k,l)=i, f(m,n)=j\} \end{aligned}$$

记号 $\#\{x\}$ 表示集合 x 的元素个数。

矩阵 $[P(i,j,d,\theta)]$ 的第 i 行 j 列元素表示所有 θ 方向, 相邻间隔为 d 的像素中, 有一个取 i 值、另一个取 j 值的相邻点对数。

图像窗口 W_N 内的灰度共生矩阵(13)式, 反映了图像灰度关于方向、相邻间隔、变化幅度的综合信息, 是分析海浪方向的基础, 据此我们可进一步提取海浪在 W_N 内的纹理方向特征。

为表达简明起见, 在下面的共生矩阵表达中, 我们略去间隔 d 和方向 θ 。

对(4)式表示的共生矩阵, 作正规化处理:

$$P(i,j)/R \Rightarrow P(i,j) \quad (14)$$

这里, R 是正规化常数。

当我们取 $d=1, \theta=0^\circ$ 时, W_N 内每一行有 $2(N_x-1)$ 个水平相邻点对, 因此总共有 $2N_y(N_x-1)$ 个水平相邻点对, 此时取 $R=2N_y(N_x-1)$ 。同样取 $d=1, \theta=45^\circ$ 时, 共有 $2(N_y-1)(N_x-1)$ 个相邻点对, 此时令 $R=2(N_y-1)(N_x-1)$, 据对称性, 当 $\theta=90^\circ$ 和 135° 时的 R 值选取是显然的。因此

$$R = \begin{cases} 2N_y(N_x-1) & \text{当 } \theta = 0^\circ, 90^\circ \\ 2(N_y-1)(N_x-1) & \text{当 } \theta = 45^\circ, 135^\circ \end{cases} \quad (15)$$

2. 区分波浪方向的纹理测度的决定

对 W_N 内共生矩阵, 取以下 4 个对于纹理方向性较为敏感的特征, 作为区分不同波浪方向的纹理测度:

$$f_1 = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \{P(i,j)\}^2 \quad (16)$$

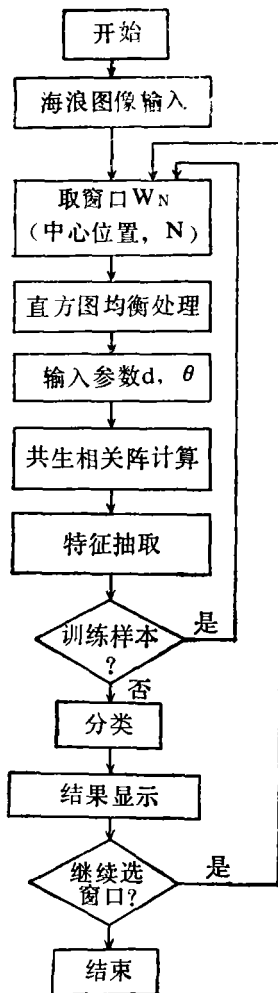
$$f_3 = \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} i \cdot j \cdot P(i, j) - \mu_x \mu_y \right\} / \sigma_x \sigma_y \quad (17)$$

$$f_5 = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \frac{1}{1 + (i-j)^2} P(i, j) \quad (18)$$

$$f_{11} = - \sum_{i=0}^{N_g-1} P_{x-y}(i) \log [P_{x-y}(i)] \quad (19)$$

上面 4 个式子中

$$P_x(i) = \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j) \quad (i = 1, 2, \dots, N_g) \quad (20)$$



GRAY-TONE SPATIAL-DEPENDENCE MATRICES--PH:

14.	8.	7.	9.	4.	0.	3.	0.	0.	1.	0.	1.	0.	0.	0.	0.
9.	4.	11.	3.	3.	1.	3.	0.	1.	2.	1.	1.	1.	0.	0.	0.
7.	11.	2.	2.	9.	0.	2.	4.	2.	5.	1.	3.	0.	3.	0.	0.
9.	3.	2.	6.	2.	1.	2.	0.	0.	1.	2.	2.	1.	1.	0.	0.
4.	3.	9.	2.	6.	0.	2.	3.	1.	9.	2.	1.	3.	2.	0.	0.
0.	1.	0.	1.	0.	2.	3.	2.	2.	2.	0.	0.	1.	0.	0.	0.
3.	3.	2.	2.	2.	3.	6.	0.	3.	6.	3.	1.	2.	2.	2.	0.
0.	0.	4.	0.	3.	2.	0.	0.	2.	2.	4.	0.	3.	2.	0.	0.
0.	1.	2.	0.	1.	2.	3.	2.	0.	1.	1.	0.	2.	2.	1.	2.
1.	2.	5.	1.	9.	2.	6.	2.	1.	0.	2.	1.	6.	3.	0.	0.
0.	1.	1.	2.	2.	2.	3.	4.	1.	2.	4.	1.	3.	2.	2.	0.
1.	1.	3.	2.	1.	0.	1.	0.	0.	1.	1.	0.	1.	0.	1.	0.
0.	1.	0.	1.	3.	0.	2.	3.	2.	6.	3.	1.	4.	5.	1.	0.
0.	0.	3.	1.	2.	1.	2.	2.	2.	3.	2.	0.	5.	6.	5.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.	0.	1.	0.	2.	1.	1.	5.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.

GRAY-TONE SPATIAL-DEPENDENCE MATRICES--PH:

12.	0.	7.	2.	2.	3.	5.	1.	0.	1.	0.	1.	0.	0.	0.	0.
8.	6.	7.	4.	9.	3.	3.	3.	2.	4.	5.	0.	1.	0.	0.	0.
7.	7.	2.	1.	9.	0.	3.	2.	2.	5.	2.	1.	1.	2.	0.	0.
2.	4.	1.	2.	3.	1.	4.	2.	0.	1.	1.	0.	1.	0.	0.	0.
2.	9.	9.	2.	20.	2.	3.	3.	1.	5.	1.	0.	2.	7.	0.	0.
3.	3.	0.	1.	2.	0.	3.	0.	2.	0.	4.	0.	0.	0.	0.	0.
5.	3.	3.	4.	3.	3.	2.	1.	2.	5.	4.	0.	2.	0.	2.	0.
1.	3.	2.	2.	3.	0.	1.	0.	4.	3.	4.	1.	1.	1.	0.	0.
0.	2.	2.	0.	1.	2.	2.	4.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	2.	0.
1.	4.	5.	1.	5.	0.	5.	3.	0.	4.	5.	1.	5.	4.	1.	0.
0.	5.	2.	1.	1.	4.	6.	4.	0.	5.	4.	0.	3.	1.	0.	0.
1.	0.	1.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	1.	0.	0.	0.	0.	1.	0.
0.	1.	1.	1.	2.	0.	2.	1.	0.	5.	3.	0.	2.	7.	2.	0.
0.	0.	2.	0.	2.	0.	0.	1.	1.	4.	1.	0.	7.	4.	2.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.	0.	2.	1.	2.	1.	2.	2.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

图 6 海洋波浪方向共生相关矩阵纹理分析框图

图 7 两个不同波浪方向图像窗口对应的灰度共生矩阵
($\theta = 0^\circ, d = 1, N_g = 16$)

Fig. 6 Diagram of the co-occurrence matrix texture analysis algorithm Fig. 7 Co-occurrence matrix corresponded to two different wave direction of ocean wave image($\theta = 0^\circ, d = 1, N_g = 16$)

$$P_y(j) = \sum_{i=1}^{N_g} P(i,j) \quad (j = 1, 2, \dots, N_g) \quad (21)$$

$$P_{x-y}(k) = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{\substack{j=1 \\ |i-j|=k}}^{N_g} P(i,j) \quad (k = 0, 1, 2, \dots, N_g - 1) \quad (22)$$

$\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$ 分别表示 $P_x(i), P_y(j)$ 的均值和均方差。

由 (16)–(19) 式表示的 f_1, f_3, f_5, f_{11} 分别称为角二阶矩 (Angular Second Moment)、相关 (Correlation)、逆差矩 (Inverse Difference Moment)、差熵 (Difference Entropy)^[5]。

海洋波浪方向共生相关矩阵纹理分析的算法程序如图 6 所示。

3. 试验结果举例

对图 1, 用上述方法作海浪方向分布纹理分析。取局部窗口 W_{32} ($N = 32$)。 $\theta = 0^\circ$, $d = 1$, $N_g = 16$ 。图 7 是两个具有不同波浪方向的图像窗口内, 灰度共生矩阵的计算机输出。

把海浪方向离散化为 4 类, 如图 8 所示。

类	波浪方向	θ
1	↔	0°
2	↗	45°
3	↕	90°
4	↘	135°

图 8 四类不同方向波浪

Fig. 8 Four discrete categories of ocean wave direction

取(16)–(19)式 4 个纹理特征组成以下四维特征向量:

$$\mathbf{f} = [f_1 f_3 f_5 f_{11}]^T \quad (23)$$

对大子样用分段线性分类器^[6], 对小子样用 MIN-MAX 分类器^[5], 作波浪方向的分类。

对于不同中心位置的图像窗口 W_{32} , 图 9 是图像系统打印输出的结果。

“Test Sample Location” 表示窗口中心坐标的位置;

Category i ($i = 1, 2, 3, 4$) 表示该图像窗口所含的海浪方向属第 i 类 (如图 8 所示)。

试验结果表明, 分析结果与实测及海洋物理的原理是符合的。

```
IMAGE FILE NAME:ZH02.DAT          TEST SAMPLE LOCATION: 100 24
>>>>> THIS SAMPLE IS CLASSIFIED TO---CATEGORY 1
```

```
IMAGE FILE NAME:ZH02.DAT          TEST SAMPLE LOCATION: 100 50
>>>>> THIS SAMPLE IS CLASSIFIED TO---CATEGORY 2
```

```
IMAGE FILE NAME:ZH02.DAT          TEST SAMPLE LOCATION: 30 30
>>>>> THIS SAMPLE IS CLASSIFIED TO---CATEGORY 1
```

```
IMAGE FILE NAME:ZH03.DAT          TEST SAMPLE LOCATION: 30 100
>>>>> THIS SAMPLE IS CLASSIFIED TO---CATEGORY 3
```

```
IMAGE FILE NAME:ZH03.DAT          TEST SAMPLE LOCATION: 80 75
>>>>> THIS SAMPLE IS CLASSIFIED TO---CATEGORY 2
```

```
IMAGE FILE NAME:ZH03.DAT          TEST SAMPLE LOCATION: 18 110
>>>>> THIS SAMPLE IS CLASSIFIED TO---CATEGORY 3
```

```
IMAGE FILE NAME:ZH03.DAT          TEST SAMPLE LOCATION: 100 40
>>>>> THIS SAMPLE IS CLASSIFIED TO---CATEGORY 4
```

图9 灰度共生矩阵纹理分析作为海浪不同方向分类结果的打印输出

Fig. 9 Example of computer output for ocean wave direction analysis

参 考 文 献

- [1] R. M. Haralick, Statistical and Structural Approaches to Texture, Proc. of IEEE, Vol. 67, No. 5, pp. 45—69, 1979.
- [2] O. R. Mitchell, C. R. Myers and W. Boyne, A Max-Min Measure for Image Texture Analysis, IEEE Trans. Vol: C-25, No. 4, pp. 408—414, 1977.
- [3] A. Rosenfeld and A. C. Kak, Digital Picture Processing, Academic Press, 1976.
- [4] 程民德等, 图像识别导论, 上海科学技术出版社, 1981年。
- [5] R. M. Haralick, Textural Features for Image Classification, IEEE Trans. Vol. SMC-3, No. 6, pp. 610—621. 1973.
- [6] J. T. Tou and R. C. Gonzalez, Pattern Recognition Principles, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1974.

A TEXTURE ANALYSIS TECHNIQUE TO WAVE LENGTH AND DIRECTION EXTRACTING FROM OCEAN WAVE IMAGE

Xu Jianhua Zheng Junwei

(Department of Computer Science Fudan University Shanghai, China)

Abstract

The classical analysis technique for ocean wave length and direction is the spectrum analysis. In this paper, A new texture analysis technique for ocean wave image performed in the spatial domain directly is presented. For every processing window, based upon the distribution of local extremes and the grey level co-occurrence matrix, the texture measures to discriminate the different kinds of ocean wave lengths and directions are constructed. Finally, the information of ocean wave lengths and directions is extracted.

Key words Texture analysis Spectrum analysis Spatial domain of image Local extremes Grey level co-occurrence matrix Texture measure Ocean wave image