

ウェーブレット変換を用いた波と背景との分離による航行船舶の検出
 A Detection Method of Moving Ship with Separating Wave and Background from
 Navigational Image Based on Wavelet Transformation

陸 躍鋒† 李 高† 新保 雅俊† 龍 偉† 大島 正毅†
 Yuefeng LU Gao LI Masatoshi SHIMPO Wei LONG Masaki OSHIMA

1. まえがき

海洋における船の安全航行を支援するために、船上に設置したカメラで得た画像から停泊あるいは航行中の船を検出する研究が必要である[1][2]。そこで、未知な海上環境で撮影した、複雑な波と背景を含む画像から船が存在する領域を素早く的確に検出でき、また、天候条件などの環境の変化に対しても頑健なシステムの構築が望まれる。

船舶検出という課題については、佐鳥ら[1]、鈴木ら[2]の研究がある。佐鳥らの実験ではカメラを陸上に固定しているため、船上からの他船の抽出に適用するには困難がある。鈴木らの実験では自船に動きがあると想定し、動きベクトルのヒストグラムによって移動物と背景の特徴を区別することができ、また、時間差分画像の投影により、航行船舶の位置を推定し、波の部分との区別ができた。しかし、雲の移動による影の影響、背景に船が重なった場合などが想定されていないので、環境変化などに対して頑健な検出方法の研究が必要である。

近年、ウェーブレット変換は時空間の微小な変化を抽出する機能と多重解像度分析の便利さなど、有用なツールとしてコンピュータビジョンの分野に応用する研究が増えている。本論文では、ウェーブレット変換を用いた波と背景との分離による航行中の船の検出法を提案する。画像中の波の空間分布は背景、船など他のものより高域成分が多く、不規則である。ウェーブレット縮退機能を活かしてざざ波を画像から分離し、またウェーブレット変換により縦と水平方向の情報を抽出して船が画像上に持つ、より安定した方向性を利用し、船を背景と分離して検出する。

2. ウェーブレット変換

ウェーブレット変換[3]による信号の分解は、式(1)、(2)の基底関数を用いて行われる。式(1)は、マザーウェーブレットと呼ばれる高域通過性のウェーブレット関数 $\Psi(x)$ の伸縮や移動によって得られる関数であり、式(2)は、スケーリング関数と呼ばれる低域通過性の関数 $\Phi(x)$ のある伸縮レベル(Jレベル)での移動で得られる関数である。ある種のウェーブレット関数やスケーリング関数では、そのような基底関数が実正規直交基底となる。

$$\Psi_{j,k}(x) = 2^{-j/2} \Psi(2^{-j}x - k), \quad j \in \mathbb{N}, k \in \mathbb{Z} \quad (1)$$

$$\Phi_{j,k}(x) = 2^{-j/2} \Phi(2^{-j}x - k), \quad k \in \mathbb{Z} \quad (2)$$

J-レベルのウェーブレット分解によって、信号 $f(x)$ は

$$f(x) = \sum_k c_{0,k} \Phi_{0,k}(x) = \sum_k (c_{j,k} \Phi_{j,k}(x) + \sum_{i=1}^j d_{i,k} \Psi_{i,k}(x)) \quad (3)$$

と表せる。ここでスケーリング係数は原信号から与えられ

る。j + 1-レベルのスケーリング係数 $c_{j+1,n} = \int f(x)_{j+1,n} \Phi(x) dx$ とウェーブレット係数 $d_{j+1,n} = \int f(x)_{j+1,n} \Psi(x) dx$ は、j-レベルでのスケーリング係数 $c_{j,k}$ と次の関係にある。

$$c_{j-1,n} = \sum_k c_{j,k} h(k - 2n) \quad (4)$$

$$d_{j-1,n} = \sum_k c_{j,k} g(k - 2n) \quad (5)$$

ここで、 $h(n)$ と $g(n)$ は全帯域を半分に分ける低域通過フィルタ及び高域通過フィルタのインパルス応答列であり、 $0 \leq j \leq J-1$ である。式(4)(5)は関数分解の繰返しアルゴリズムを与え、この式により、J-レベルまでのウェーブレット係数 $d_{j,k} 1 \leq j \leq J$ と、低解像度のスケーリング係数 $c_{J,k}$ が得られる。同様に、繰返しアルゴリズム

$$c_{j,k} = \sum_n c_{j+1,n} h(k-2n) + \sum_n d_{j+1,n} g(k-2n) \quad (6)$$

は関数再構成に用いられる。

画像信号についての2次元ウェーブレット変換は、画像の行と列に沿った二つの1次元ウェーブレット変換として得られる。

y_c を原画像とし、 $w_c = W(y_c)$ をJ-レベルのウェーブレット変換画像とする。変換画像 w_c は $3J + 1$ 枚のサブバンド $LL(J), LH(J), HL(J), HH(J), \dots, LH(1), HL(1), HH(1)$ (最初のLやHは、それぞれ水平方向の低域通過や高域通過を意味し、2番目のLやHは、垂直方向の低域通過や高域通過を意味する)に分解される。図1に、1レベルのウェーブレット変換の例を示す。

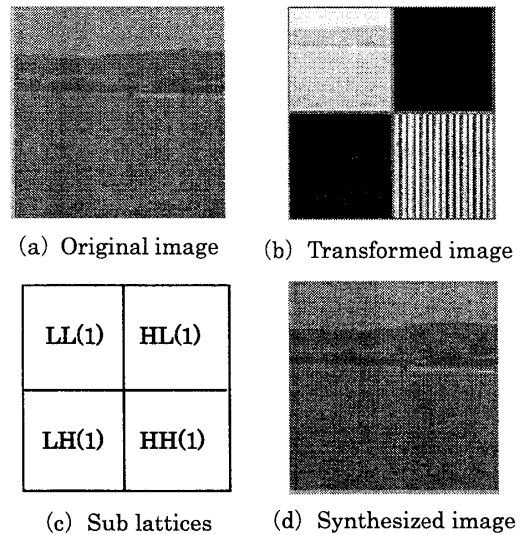


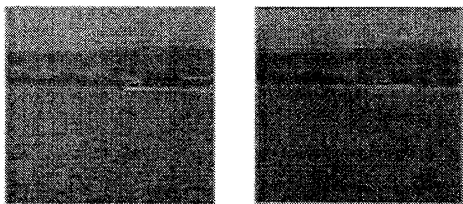
図1. 離散ウェーブレット変換
 Fig.1 1-level discrete wavelet transformation

† 東京商船大学交通電子制御工学講座, 東京都

3. ウェーブレット縮退による波の分離

Donohoらによって1994年に提案されたウェーブレット縮退 (wavelet shrinkage) は、信号のウェーブレット展開係数を求め、その絶対値がある閾値より小さいものを0に置き換えて信号の再構成を行う手法である。この手法は、信号に含まれたノイズの除去及び、データ圧縮に利用されており、対象となる信号の統計的性質が未知の場合にも有効な方法として知られている[4]。

波が画像に表した空間分布は背景、船など他のものより高域成分が多く不規則であるので、より高い周波数成分に集中している。この特徴を利用して、式(3)でウェーブレット変換した後、各高周波数成分のヒストグラムでそれぞれ一定な閾値を設定し、この閾値より小さいものをノイズ及び波として検出し、0に置き換えた上で、式(6)で再構成を行う。そうすると、波が分離された画像が得られる。図2には、5-レベルウェーブレット変換して縮退法による波の分離を示す。



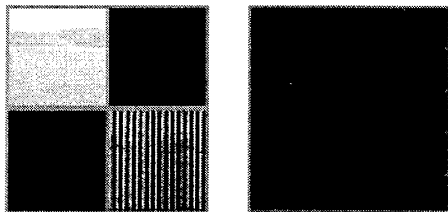
(a) Original image (b) Separated image

図2. ウェーブレット縮退による波の分離。
Fig.2 Separating wave from image using wavelet shrinkage.

4. 水平方向の情報抽出による背景の分離

対象物を検出するには、対象物が画像上にもつ方向性についての情報が有用である。中野らは波状ムラ及びスジ状ムラのような方向性を持つカラー液晶ディスプレイ表面欠陥の検出法を提案した[5]。三谷らは自動車が画像に持つ“水平方向の方向性”という情報を活用して自動車の検出を行った[6]。

海洋における船は自動車と同じく画像に“水平方向の方向性”という情報を持つと仮定することができる。一方、ウェーブレット変換したHLサブ格子 (Sub lattices) は水平方向の高域通過、垂直方向の低域通過を意味する。即ち、水平方向の色分布や明度分布、テクスチャといった内部分布パターンの変化が強調される。ウェーブレット変換のこの特徴を利用し、画像に“水平方向の方向性”という情報を持つ物体を他の物体と分離することができる。



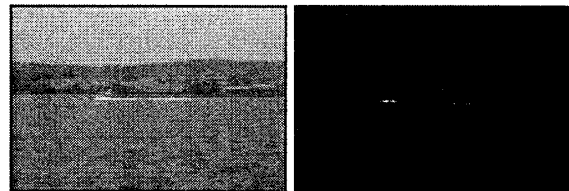
(a) 1-level transformed (b) Separated image

図3. ウェーブレットの水平変換による背景の分離
Fig.3 Separating background from image using horizontal wavelet transformation

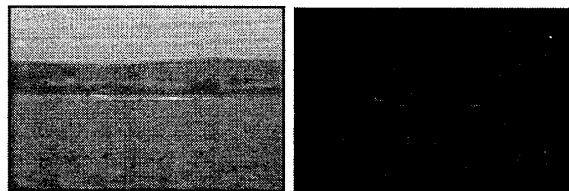
ここでは、物体が画像に持つ“水平方向の方向性”という情報は背景については存在しないと仮定する。これによって背景を分離し、船を抽出することができる。図3には、ウェーブレットの水平変換による背景の分離を示す。

5. 実験

我々は東京湾の館山で船上に設置したカメラにより得た時系列画像から上述した方法で船を対象に検出実験を行った。連続画像は1秒30フレームで、5フレームごとに検出処理をした。結果の一部を、図4に示す。



(a) Original frame 6 (b) Separated frame 6



(c) Original frame 11 (d) Separated frame 11

図4. 時系列画像からの検出結果
Fig.4 Results of detection from image sequence

6. むすび

本論文では、ウェーブレット変換に基づき、ウェーブレット縮退により波を分離し、船が画像に“水平方向の方向性”という情報を持つ特性から船の検出を行った。実験結果から提案した方法は有効であると判断できる。

今後は、より複雑な条件下での波、背景、船のパターンに対して有効性を確認する予定である。

文 献

- [1] 佐鳥昭生, 大島正毅, 航海環境画像から航行船舶検出に関する実験, 日本航海学会論文集 97号, pp. 213-220, 1997.
- [2] 鈴木充雄, 大島正毅, 船上からの時系列画像を用いた航行船舶の検出実験, 日本航海学会論文集 99号, pp. 13-19, 1999.
- [3] C. K. Chui, An Introduction to Wavelets, Academic Press, Boston, 1992.
- [4] D. L. Donoho: "De-noising by Soft-thresholding," IEEE Trans. Information Theory, Vol. 41, No. 3, pp. 613-627, 1995.
- [5] 中野宏毅, 吉田靖夫, 藤田和弘, ガボール関数を用いたカラー液晶ディスプレイのマイクロ欠陥検査支援, 信学論 (D-II), vol. J80-D-II, no.3, pp.734-744, March 1997.
- [6] 三谷重知, 呉海元, 塩山忠義, ガボール変換による自動車検出, 信学論 (D-II), vol. J83-D-II, no.12, pp.2641-2651, Dec. 2000.