

Wavelet과 반복적 수리형태학을 이용한 레이더 클러터의 점진적 제거에 관한 연구

정 기 룡*

*한국해양대학교 운항시스템공학부 부교수

A Study on Progressive Removing Radar Clutter by Wavelet and Recursive Mathematical Morphology

Gi-Ryong Jeong*

*Division of Ship Operating System Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요 약 : 웨이브렛과 수리형태학적 3x3 SQ(square) 형태소를 사용한 다해상도 분석(MRA; Multi-resolution analysis) 알고리즘은, 선박용 레이더 영상의 클러터(Clutter)를 점진적으로 제거할 수 있으며 탐지 효율을 향상시키는 우수한 특성이 있다. 반복적 수리형태학(RMM; Recursive Mathematical Morphology)은 일반적으로 사용하는 수리형태학(Morphology) 보다 평활화(Smoothing)에 훨씬 좋은 특성이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 방법들보다 점진적 클러터 제거 성능을 향상시키기 위하여, 웨이브렛(Wavelet)과 반복적 수리형태학을 결합시킨 하이브리드(Hybrid) 메디언 필터를 사용하는 다해상도 분석(MRA; Multi-resolution analysis) 알고리즘을 제안한다. 이때 사용되는 형태소는 RMM 연산용의 3x3 RHR(rhombus) 형태소이다. 시뮬레이션 결과 기존 방법과 비교하여 PSNR에서 0.65~1.50db 정도 향상된 결과를 보이고 있다.

핵심용어 : 웨이브렛, 반복적 수리형태학, 다해상도 분해

Abstract : MRA(Multi-resolution analysis) algorithm by Wavelet and Morphology with 3x3 SQ(square) SE(structure element) is efficient to remove ship's radar clutter progressively and enhances detecting performance. Smoothing efficiency of RMM (Recursive Mathematical Morphology) is better than that of Morphology. So, to get a better result than that of old algorithms, this paper proposes a new MRA algorithm which uses Wavelet and Recursive Mathematical Morphology with 3x3 RHR(rhombus) SE. Simulation result of the proposed algorithm shows that PSNR is 0.65~1.50db better than that of old method.

Key words : Wavelet, Recursive Mathematical Morphology, MRA(Multi-resolution Analysis)

1. 서 론

선박용 레이더 영상에 나타나는 클러터는 레이더의 선박 탐지 효율을 저하시키는 요인이 되므로, 이에 대한 개선을 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

본 논문에서는 선박용 레이더의 클러터를 점진적으로 감소시켜 레이더 영상을 이용한 선박 탐지 효율을 향상시키는 알고리즘을 연구하고자 다음과 같이 웨이브렛[1]~[8]과 반복적 수리형태학 [10],[11]을 결합하고 있다.

웨이브렛 변환(Wavelet Transform)은 수학분야에서 연구되다가 신호처리에 활발하게 응용되고 있으며, 수리형태학(Morphology)[9]은 집합론에 기반을 두고 있는 비선형적 신호처리 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

기존에 연구되었던 클러터 제거를 위한 여러 연구 중 웨이

브렛과 수리형태학을 이용한 3x3 SQ SE를 적용한 MRA[12]는 주파수 대역별 분할과 분할된 영상을 적절하게 복원 가능함은 물론이고, 주파수 대역별로 선박 레이더 영상 클러터를 점진적으로 제거하기 때문에, 클러터가 심한 해상 상태에서 조난 선박 탐지에 효율적이다.

그런데, 반복적 수리형태학(RMM) 개념은 순수한 수리형태학 보다 평활화(Smoothing)에 효과적이다. 따라서 본 논문에서는 주파수 대역별로 분할 및 복원 가능하며, 클러터를 위의 방법보다 더욱 효율적으로 제거하기 위해서 웨이브렛 변환후 RMM을 채택한다.

즉 RMM을 사용하게 되면, 기존에 사용하던 수리형태학 대신에 반복적 수리형태학 연산을 적용하며, 3x3 SQ 형태소 대신에 형태소의 기준점(\ast)에 임의의 반복값(weight)이 주어지는 3x3 RHR(rhombus) RMM용의 형태소를 사용한다.

또한, 기존 방법에는 참고 영상을 1개 사용하지만, 본 논문에서의 하이브리드 메디언 필터 적용시는 참고하는 입력 영상

* 정희원, jeongr@hanara.kmaritime.ac.kr, 051)410-4244

의 개수는 3개이며, 이들은 다음과 같다.

첫째, 오리지널 클러터 영상이다. 이는 클러터가 들어 있지만 클러터 이외의 데이터는 원 영상에 가장 가깝다.

둘째, 웨이브렛 변환한 데이터를 RMM 열림 처리한다. 열림 처리는 원영상의 형태를 유지하면서 가장 밝은 값들을 제거해 주므로 저주파용 필터와 유사하다.

셋째, 웨이브렛 변환한 데이터를 RMM의 닫힘 처리한 영상을 참고한다. 닫힘 처리는 원영상의 형태를 유지하면서 아주 작은 그레이 값들을 제거하는 관계로 고주파용 필터 역할을 한다.

이와 같은 3개의 참고 영상에 RMM 메디언 필터 처리한 MRA 시뮬레이션 결과, 3x3 RHR 형태소 적용의 Hybrid Morphological filter를 이용한 MRA 알고리즘 처리 결과는 PSNR의 범위가 24.39db~28.29db의 범위에 있다.

한편, 기존 알고리즘인 웨이브렛과 3x3 SQ Morphology Median 필터를 이용한 MRA의 PSNR은 22.89db~27.64db의 범위에 있다.

즉 제안한 알고리즘의 결과는 기존 알고리즘 결과보다 모든 주파수대 범위에서 PSNR이 높게 나타난다.

따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘은 해상에서의 기상 상태 악화로 난반사가 심한 해상 상태에서 선박용 레이더 영상을 이용해서 조난 선박을 식별하는데 효율적이라 사료된다.

2. 웨이브렛

웨이브렛의 주된 개념[3],[7]은 $\Psi(x)$ 로 정의되는 함수를 변이(translation) 시키고 확장(Dilation) 및 축소(Scaling)시킴으로써 얻어지는 함수들의 집합을 말한다. 어떤 신호 $f(x)$ 의 웨이브렛 변환은 아래 식과 같다.

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx \quad (1)$$

여기서 Ψ 는 mother wavelet 이며, 매개 변수 a, b 는 두 개가 모두 실수일 경우 CWT (Continuous wavelet transform)이며, a, b 가 모두 정수일 때 DWT(Discrete wavelet transform)이다.

대표적으로 사용되는 웨이브렛에는 다음과 같은 Haar 웨이브렛과 Daubechies 웨이브렛이 있다.

○Haar Wavelet

Haar[2],[3] 웨이브렛은 다음식과 같다.

$$\psi_2(x) = \phi(2x) + \phi(2x-1) \quad (2)$$

○Daubechies Wavelet

$$\begin{aligned} c_0 &= \frac{1+\sqrt{3}}{4}, & c_1 &= \frac{3+\sqrt{3}}{4}, \\ c_2 &= \frac{3-\sqrt{3}}{4}, & c_3 &= \frac{1-\sqrt{3}}{4} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \psi_4(x) &= c_0 \phi(2x) + c_1 \phi(2x-1) + c_2 \phi(2x-2) \\ &+ c_3 \phi(2x-3) \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)는 Daubechies[3],[7] 웨이브렛이다.

이때, c_n 은 저역 통과 필터 계수이고, 이에 대한 직교 고역 통과 필터 계수 g_n 은 $g_n = (-1)^n c_{n+1}$ 이다.

2차원 웨이브렛을 변환하면 저주파 성분으로만 구성된 LL (low-low)과 고주파 성분이 포함되어 있는 LH(low-high), HL(high-low), HH(high-high)의 4영역으로 Fig. 1과 같다.

3. 반복적 수리형태학(Recursive Mathematical Morphology)

3.1 형태소(SE ; structuring element) 종류

반복적 수리형태학[10],[11]은 잡음 제거시 원형을 보존하면서도 효율적인 잡음 제거를 하기 위해서, 일반적인 수리형태학 [9]을 변형한 것이다. 그래서 반복적 수리형태학에 사용되는 형태소는 형태소의 기준점(\hookrightarrow)에 임의의 반복값(weight)을 준다. 따라서, 기존의 수리형태학과는 적용 방법에 차이가 있다. 즉 Fig. 2의 (a)와 (b)는 일반적으로 사용되는 수리형태학에 적용되는 형태소이며, (c)는 반복적 수리형태학에 적용되는 형태소이다.

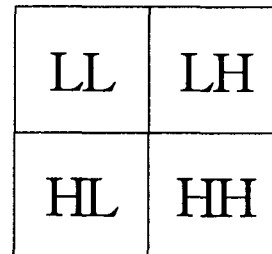


Fig. 1 Frequency characteristic of 2D Wavelet decomposition

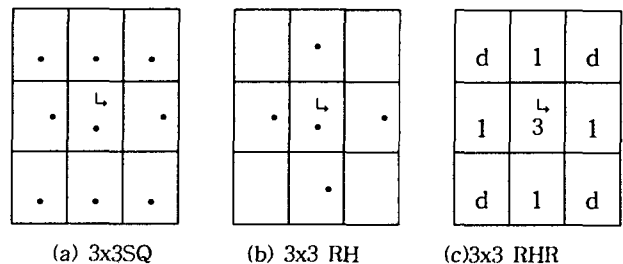


Fig. 2 Structuring elements

3.2 반복적 수리 형태학의 기본 연산

원영상이 f 이고, 형태소가 B 이며, 형태소의 기준점(\hookrightarrow)이 A , 기준점에 위치한 픽셀값이 k 일 때 반복적 수리형태학의 연산은 다음과 같다. 아래 식에서 첨자 r 은 반복적 수리형태학을 의미한다.

○ 불림(dilation)

$$(f \oplus_r [B, A, k])(x, y) = k-1th \text{ largest value of multiset} \quad (5)$$

○ 녹임(erosion)

$$(f \ominus_r [B, A, k])(x, y) = k-1th \text{ smallest value of multiset} \quad (6)$$

○ 열림(opening)

$$f \circ_r [B, A, k](x, y) = ((f \ominus_r [B, A, k]) \oplus_r [B, A, k])(x, y) \quad (7)$$

○ 불림(closing)

$$f \cdot_r [B, A, k](x, y) = ((f \oplus_r [B, A, k]) \ominus_r [B, A, k])(x, y) \quad (8)$$

4. 웨이브렛과 반복적 수리 형태학을 이용한 선박용 레이더 영상의 점진적인 클러터 제거를 위한 MRA 알고리즘

본 논문에서는 효과적으로 클러터를 제거하기 위해서 웨이

브렛과 반복적 수리형태학(RMM; Recursive Mathematical Morphology)을 결합하며, 3x3 RHR 형태소의 RMM Hybrid 메디언 필터를 이용한 점진적 클러터 제거 알고리즘을 제안한다. 이에 대한 개략도는 Fig. 3과 같다.

처리 순서를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 가우시안 잡음 및 클러터 영상을 포함한 선박용 레이더 영상을 Daubechies 웨이브렛 변환한다. 둘째, 주파수 대역별로 분해된 LL, LH, HL, HH 각 부분을 원하는 주파수 영역으로 선택하여 조합한다. 셋째, 조합된 영상들을 Daubechies 복원 알고리즘으로 복원한다. 넷째, 복원된 영상에 3x3 크기의 RHR 형태소를 적용하여 RMM 연산에 의한 열림(opening)과 불림(closing) 처리를 각각 한다. 다섯째, 원래의 클러터 영상과 네 번째에서 생성된 두 개의 영상을 참조하여 3x3 RHR 형태소를 적용한 RMM 하이브리드 메디언 필터 처리를 한다.

여섯째, 이렇게 처리된 영상을 잡음이 전혀 없는 오리지널 영상과 비교하여 PSNR을 구한다. 만일 위의 둘째 단계에서 4개 영역 주파수보다 더 많은 주파수로 분할 하기 위해서는 해당 부분 영역에서 Daubechies 웨이브렛을 원하는 만큼 반복 할 수 있다.

Fig. 3에서 D4WT는 2차원 Daubechies Wavelet 변환을 하여 주파수 별로 분할하는 것을 의미하며, RD4WT는 D4WT로 분할된 영역을 복원시키는 것을 의미한다. Fig. 3에서 W_Sub

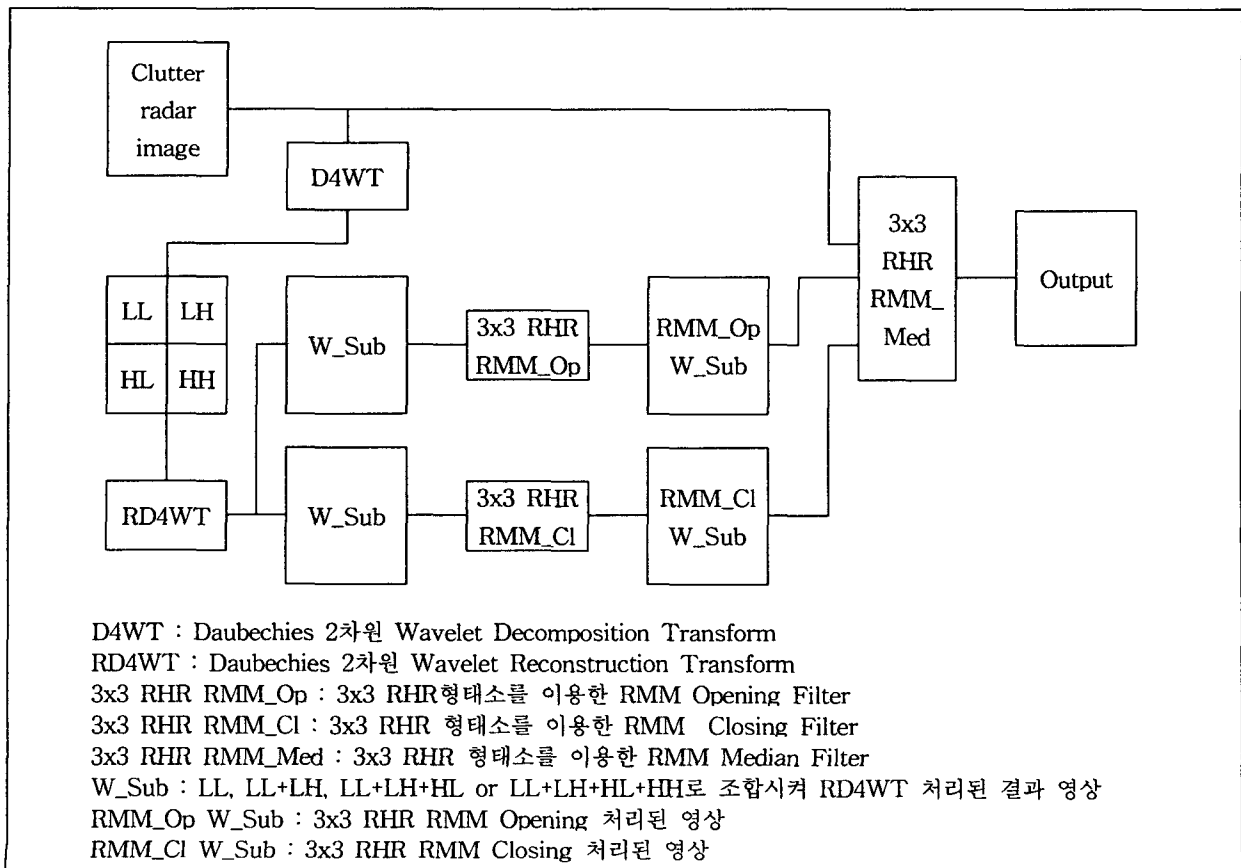


Fig. 3 Proposed MRA algorithm for progressively removing radar clutter by Wavelet and Recursive Mathematical Morphology.

는 웨이브렛 변환후 주파수 대역별로 복원된 영상이다. 그리고 RMM_Op, RMM_Cl과 RMM_Med는 수리형태학을 이용한 불임, 열림 그리고 메디언 필터를 각각 의미한다.

따라서 본 알고리즘으로 조난 선박을 찾는 경우 여러 주파수 대역별로 합성된 서로 다른 영상을 비교하면서 선박 구조 작업에 임할 수 있어 효율적으로 생각된다.

그리고 본 논문에서 수치적으로 원 영상과의 비교는 평균자승 오차를 사용했다. MSE는 다음과 같다

$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_{m=1}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} [f_1(m, n) - f_2(m, n)]^2 \quad (9)$$

식(9)에서 m 은 영상의 가로 크기이며, n 은 세로 크기를 나타내며 f_1 은 잡음이 없는 원 영상이고 f_2 는비교 대상이 되는 MRA 알고리즘의 출력 영상들이다. 그리고 PSNR은 다음과 같다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(255 \cdot M)^2}{MSE} \quad (10)$$

5. 실험 및 고찰

본 논문에서는 한국해양대학교 실습선에서 얻은 8비트 영상을 오리지널 영상으로 간주하고, 클러터와 데이터 성질이 비슷한 가우시안 잡음을 발생시켜 512x512 크기의 영상 데이터 개수의 10%를 가우시안 잡음으로 인위적으로 첨가한 영상을 만들었다. 그리고 이를 10% 클러터 영상으로 한다. 이때 이 영상의 PSNR은 15.70db 이다.

클러터를 제거 및 선박탐지 효율을 증대시키기 위한 MRA 시뮬레이션 결과는 Table 1과 같으며, 시뮬레이션 결과 및 비교 영상은 Fig. 4와 같다. 이 경우 Table의 내용을 3가지로 분석할 수 있다.

Table 1 Comparing the result between proposed algorithm and the old method.

No	실험 영상 및 웨이브렛 부영상 조합시 영상들의 PSNR	3x3 SQ median filter 처리한 MRA 결과 PSNR	3x3 RHR을 이용한 제안한 알고리즘 적용시 결과 PSNR	비 고
1	8bit original radar image (size 512x512)			PSNR 비교시 기준 영상
2	10% cluttered image 15.70 db	27.61 db		
3	LL 20.26 db	22.89 db	24.39 db	LL(low-low), LH(low-high), HL(high-low), HH(high-high) 주파수 성분을 의미한다
4	LL+LH 18.25 db	24.25 db	27.10 db	
5	LL+LH+HL 16.98 db	24.80 db	27.02 db	
6	LL+LH+HL+HH	27.64 db	28.29 db	

첫째, 클러터 영상에 3x3 SQ 메디언 필터를 직접 처리하면 PSNR은 27.61 db 이며, 결과 영상은 1개이다.

둘째, 웨이브렛 변환 후, 이것을 다시 주파수 영역별로 조합시켜 복원한 각각의 영상에 3x3 SQ Morphology Median 필터를 이용한 MRA는 8개 이상의 참고 영상을 얻을 수 있으며, PSNR은 22.89db~27.64db의 범위에 있다.

셋째, 본 논문에서 제안한 방법인 웨이브렛과 RMM 개념을 이용한 레이더 클러터의 점진적 제거를 위한 MRA 알고리즘으로 처리 결과의 PSNR은 24.39db~28.29db의 범위에 있다.

따라서 제안한 알고리즘이 기존의 웨이브렛과 수리형태학 개념을 적용하며, 3x3 SQ 형태소를 사용한 MRA 메디언 필터보다 효율적인 수색 작업을 할 수 있을 것으로 생각된다.

6. 결론

레이더에 수신되는 클러터 신호는 경우에 따라서는 소형 선박인 경우, 클러터 제거시 화면에서 없어 질 확률이 높다. 따라

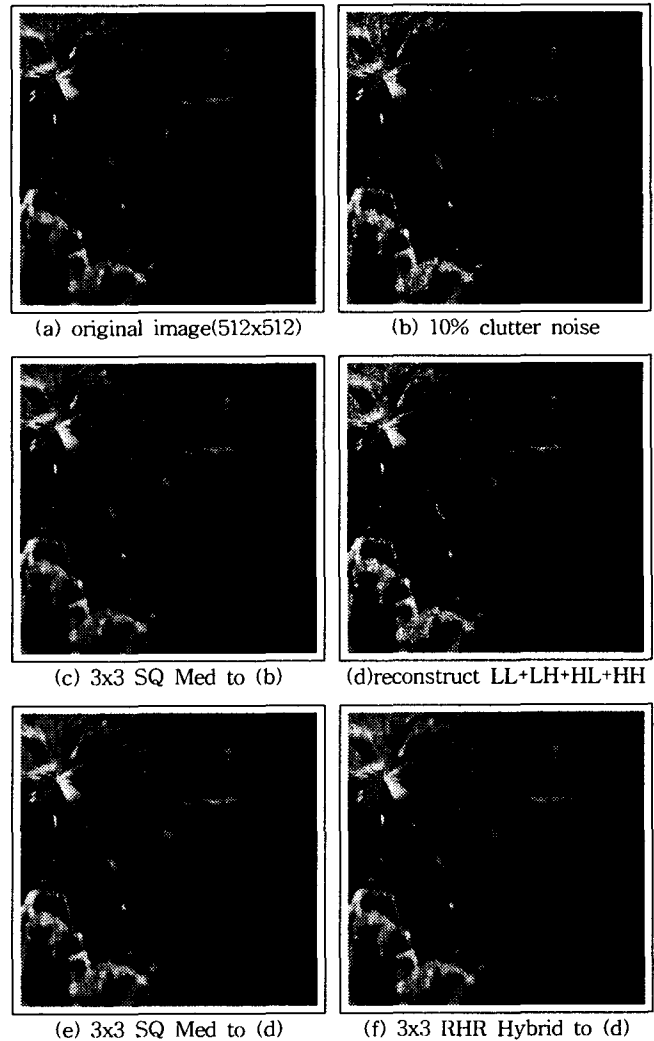


Fig. 4 Comparing the results of proposed algorithm with the old method to 10% radar clutter image

서 이러한 현상을 줄이기 위해서는 클러터 영상을 웨이브렛 기법을 사용하여 여러 주파수 대역별로 분할후 적절하게 화면을 조합할 수 있는 것이 좋다.

Table 1의 결과에서 보이듯이 본 논문에서 제안한 방법이 기존의 웨이브렛과 수리형태학적 3x3 SQ를 이용한 메디언 처리 MRA 방법보다 클러터 제거에 성능이 좋다. 이는 두가지 요인으로 생각된다. 첫 번째 단계에서 반복적 수리형태학 방법을 채택 함으로서 일반적인 수리형태학적 처리 결과보다 효과적으로 클러터를 제거한다. 그리고 두 번째 단계에서는 이미 앞서 나온 결과 영상을 이용해 열림과 붙임의 2개 참고 영상을 만들고 원래의 클러터 영상을 포함하여 3개의 참고 입력으로 하는 3x3 RHR RMM 하이브리드 메디언 필터 처리하므로 원래의 데이터 보존성이 우수하여 PSNR이 기존의 방법들 보다 높다.

따라서 본 논문의 알고리즘은 선박 탐지를 위한 분야에 적용할 수 있을 뿐 아니라 컴퓨터 비전(Computer Vision) 분야에서 카메라를 통해 입력되는 영상 데이터의 전처리 과정등에 활용하면 좋은 효과를 얻을 수 있으리라 생각된다.

후 기

이 논문은 한진해운의 2000년도 연구비지원에 의해서 연구 되었음.

참 고 문 헌

[1] Yves Nievergelt(1999), Wavelets Made Easy, Birkhauser
 [2] R. Todd Ogden(1997), Essential Wavelets for Statistical Applications and Data Analysis, Birkhauser Boston
 [3] Gilbert Strang and Truong Nguyen(1996), Wavelets

and Filter Banks, Wellesley-Cambridge Press

- [4] Charles K. Chui(1992), An introduction to Wavelets, Academic Press
 [5] Jung-Jae Chao and Chyi-Chyng Lin(Oct., 1997), "Sea Clutter Rejection in Radar Image Using Wavelets and Fractals", Proceedings ICIP, Vol.2 of 3
 [6] Srephane G. Mallat(July, 1989), "A Theory for Multi-resolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation", IEEE Transactions on PAMI, Vol.2, No. 7
 [7] Ingrid Daubechies(1992), Ten Lectures on Wavelets, Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, Pennsylvania
 [8] P. Flandrin(March, 1992), "Wavelet Analysis and Synthesis of Fractional Brownian Motion", IEEE Trans. Information Theory, Vol. 38, pp.910 - 917,
 [9] Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro(1992), Computer and Vision, Vol.1, pp. 157 - pp. 261, Addison Wesley
 [10] Frank Y. Shih and Padmaja Puttagunta(July, 1995), "Recursive Soft Morphological Filters", IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 4, No. 7, pp. 1027 - 1032
 [11] 정기룡(1996년 11월), "반복적 수리형태학을 이용한 하이브리드 메디언 필터", 한국항해학회지 제20권 제4호, pp. 99-109
 [12] 정기룡(2002년 3월), "Wavelet과 Morphology Median 필터를 이용한 선박용 Radar 탐지 효율 향상을 위한 연구", 한국항해항만학회지, 제26권 제1호, pp.28~34

원고접수일 : 2002년 03월 27일

원고채택일 : 2002년 06월 17일