

해양 환경에서 웨이블릿 변환을 이용한 크기 변화에 무관한 물표 탐지 알고리즘

A Scale Invariant Object Detection Algorithm Using Wavelet Transform in Sea Environment

바자르와노 바담체렝* · 박기태** · 정종면***†

Badamtseren Bazarvaani, Ki Tae Park and Jongmyeon Jeong†

*목포해양대학교 해양전자통신·컴퓨터공학과, **한양대학교 기초·융합교육원

***목포해양대학교 해양컴퓨터공학과

† Department of Computer Engineering, Mokpo National Maritime University

요약

본 논문에서는 해양 환경에서 획득한 IR 영상으로부터 웨이블릿 변환을 이용한 크기 변화에 무관한 물표 탐지 알고리즘을 제안한다. 모폴로지 연산을 이용하여 영상의 잡음을 제거한 후 2-D 이산 Haar 웨이블릿 변환(DHWT) 기법을 통해 수평 방향 에지(HL), 수직 방향 에지(LH), 대각선 방향 에지(HH) 영상들을 생성한다. 해양 환경을 고려하여, 웨이블릿의 각 레벨에서 수평과 수직 에지 영상을 가우시안 블러링을 수행하고 블러링된 수직 및 수평 에지들을 서로 곱하여 하나의 영상으로 결합하여 saliency map을 생성한다. 그런 다음 saliency map을 이진화 하여 물표 후보 영역을 추출한다. 마지막으로 물표 후보 영역에서 소영역 제거를 통해 최종적인 물표 영역을 추출한다. 실험결과에서는 제안된 알고리즘의 타당성을 보인다.

키워드 : 이산 Haar 웨이블릿 변환, 물표 탐지, 수직 및 수평 에지, 모폴로지 연산, 가우시안 블러링, 해양 환경.

Abstract

In this paper, we propose an algorithm to detect scale invariant object from IR image obtained in the sea environment. We create horizontal edge (HL), vertical edge (LH), diagonal edge (HH) of images through 2-D discrete Haar wavelet transform (DHWT) technique after noise reduction using morphology operations. Considering the sea environment, Gaussian blurring to the horizontal and vertical edge images at each level of wavelet is performed and then saliency map is generated by multiplying the blurred horizontal and vertical edges and combining into one image. Then we extract object candidate region by performing a binarization to saliency map. A small area in the object candidate region are removed to produce final result. Experiment results show the feasibility of the proposed algorithm.

Key Words : Discrete Haar Wavelet Transform, Object detection, Horizontal and vertical edge, Morphology operation, Gaussian blurring, Sea environment

1. 서론

선박을 조정하는 항해사는 항해에 필요한 여러 정보를 전자해도 (ECDIS: Electronic Chart Display and Information System), 알파 레이더(ARPA: Automatic

접수일자: 2013년 3월 31일

심사(수정)일자: 2013년 4월 7일

게재확정일자: 2013년 5월 11일

† Corresponding author

이 논문은 2012년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (지능형 해양 사고 예방 및 구난기술 개발)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Radar Plotting Aids), 선박 자동식별 장치(AIS: Automatic Identification System), GPS 등 선교(bridge)의 항해보조 장비로부터 얻는다. 그러나 항해 보조 장비의 불안정성으로 인해 선박을 조정하기 전에 반드시 육안으로 선박의 주위 상황을 파악해야 한다. 육안에 의한 관측을 어렵게 하는 요인은 항해사의 피로, 야간환경, 악천후 등이 있는데, 관련 연구에 의하면 해양 충돌 사고의 66.7%는 육안에 의한 관측 소홀로 발생하고 있다고 보고되고 있다[1]. 따라서 야간환경에서도 선박 주위 상황을 파악할 수 있는 IR 카메라를 선박에 설치하여 영상 정보를 항행 정보로 활용할 수 있다면 해양 충돌 사고를 감소시킬 수 있다. 물체 탐지(object detection)는 입력 영상에서 사전에 정의된 특정 물체나 객체를 찾아내는 기술로서 해양 물표 탐지는 입력 영상에서 선박이나 부표 물표를 탐지해 내는 기술을 의미하는데, 운항중인 선박의 근처에 다른 선박, 부표, 암초 등의 존재 유무를 판단한다[2]. 영상 정보를 이용한 자선박 주위의 다른 선박의 자동 탐지는 항해사의 근무피로를 경감시키면

서 기존 항행 보조 장비의 불안전성을 보완할 수 있기 때문에 안전 항행에 큰 도움을 줄 수 있다. 그러나 해양 환경에서 취득한 영상은 기후의 변화, 파도의 변동, 구름의 이동에 따른 빛의 양의 차이, 안개나 비, 강풍 등의 요소가 굉장히 다양하기 때문에 해상 영상에서 물표를 추출하기는 매우 어려운 문제이다. 따라서 해상환경에서의 물표 추출은 다양한 환경 변수를 고려한 방법이 요구된다. 또한 해상 영상에서 물표는 다양한 크기로 나타나기 때문에 크기 변화에 무관하게 물표를 추출 할 수 있는 연구가 필요하다. IR 영상은 야간에 사람의 시각을 대신하여 영상을 획득할 수 있는 장점 때문에 Night vision 분야에 많이 사용되고 있다. 해양 환경에서 획득한 영상에서 물표를 추출하는 기존 연구로서 IR 영상에 대해서 주파수 도메인에 기반한 물체 검출 기법이 연구되고 있는데 수평, 수직 방향 에지의 연결성만을 고려하여 물표를 탐지하였기 때문에, 물표의 질감 정보에 따라 물표 추출 결과가 달라질 수 있으며, 영상에서 물표의 크기에 따라 에지의 연결성을 결정하기 위한 여러 가지 파라미터들이 달라져야 하기 때문에 다양한 환경의 해양 영상으로부터 물표를 추출하기에 어려움이 있었다[3]. 또한 참고 문헌[4]에서는 해양환경에서 물표 추출하기 위해서 Meyer 위터슈드 방법을 이용하여 얻은 분할된 영상과 수평 에지의 비교를 통하여 물체를 추출하였는데 분할된 영역을 병합하기 위한 밝기차 임계값에 따라 그 결과가 달라질 수 있기 때문에 다양한 해양 환경 영상에서 물체를 추출하기에 어려움이 있다. 참고문헌 [5]에서는 IR 영상에서 물체를 배경으로부터 분할하는 방법이 제시되었는데 육상 환경에 초점을 맞추었기 때문에 해양환경에 적용하기에는 힘들다. 참고문헌 [6]에서는 super-resolution을 이용한 자동 검출 연구가 있는데 물체의 크기에 따라 탐지 성능이 저하될 수 있다. 이런 문제점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 크기 변화에 무관한 물표를 탐지하기 위해 웨이블릿을 이용하여 다양한 크기 물표를 탐지할 수 있는 기법을 제안한다.

2. 제안된 알고리즘

해양 환경에서 획득한 영상에 존재하는 에지들은 육상에서 획득한 영상의 그것들과는 다른 특징을 갖는다. 그림 1(b)에서 보이는 바와 같이 해양환경에서 획득한 영상에서 추출한 에지는 수평선, 해수면의 파랑 등의 영향으로 수평 방향의 에지가 수직 방향의 에지에 비해 많다. 수평 방향의 에지는 주로 해수면 또는 수평선이 만들어내는 에지이고, 수평과 수직 방향으로 동시에 에지가 나타나는 영역은 선박이나 부표와 같은 물표가 만들어내는 에지인 경우가 대부분이다. 수직 방향의 에지는 대부분 물표 영역에서 집중적으로 나타나며 배경영역의 잡음이 만들어내는 수직 에지는 넓은 영역에 흩어져서 나타난다. 그림 1은 해양 환경영상의 이러한 특징을 보인다.

본 논문에서는 이러한 해양 영상의 특징을 이용하여 물표를 추출하는데 크기 변화에 무관한 물표 추출을 위해 웨이블릿 변환을 수행하여 다해상도 에지들의 방향성 정보를 사용한다. 이를 위해, 먼저 빛의 반짝임과 복잡한 클러스터와 같은 노이즈를 제거하는 영상 개선 작업을 수행한다. 그런 다음, 이산 Haar 웨이블릿 변환을 사용하여 다해상도 수직 및 수평 방향의 에지 정보를 추출한다. 세 번째 단계에서는, 수평 및 수직 에지 영상을 각각 레벨에서 결합한 후 수평 및 수직 에지를 존재하는 각각 레벨의 영상들을 하나의 영

상으로 통합하여 saliency map을 생성한다. 마지막으로 이진화를 수행한 후 고립 영역을 제거하여 최종적인 물표 영역을 추출한다. 그림 2에서는 제안된 알고리즘의 전체적인 프로세스를 보이고 있다.

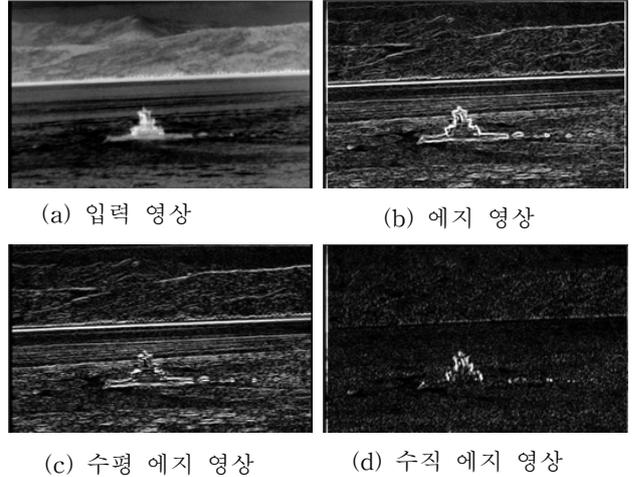


그림 1. 해양 환경 영상의 특징.

Fig. 1. Characteristics of sea environment images.

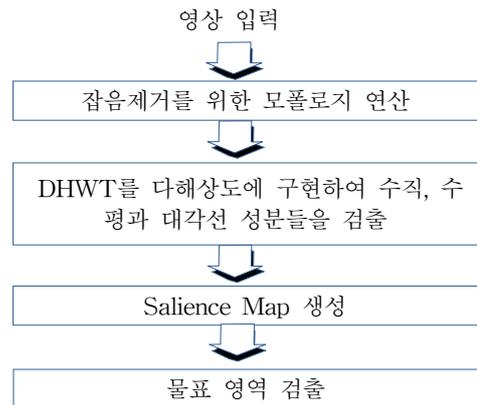


그림 2. 물표 탐지 알고리즘의 전체 프로세스.

Fig. 2. Whole process of object detection algorithm.

2.1 잡음 제거

해양 환경에서 촬영된 IR 영상은 해수면의 빛 반짝임 또는 복잡한 클러스터와 같은 잡음이 영상 전체에 분포되어 있는데, 이러한 잡음들은 물표의 검출에 대한 효율성을 떨어뜨리는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 다양한 잡음들을 효과적으로 제거하기 위한 영상 개선 방법이 요구된다. 본 논문에서는 주어진 입력 IR 영상의 잡음들을 제거하기 위하여 모폴로지 기법을 사용한다. 수학적 집합론에 기반하는 모폴로지 연산의 침식(erosion)은 식(1)과 같이 정의된다[7].

$$A - B = \{x | (B)_x \subset A\} \quad (1)$$

식 (1)에서, A 와 B 는 입력 영상과 구조체(structuring element)를 각각 의미한다. 침식 연산은 영상 A 의 노이즈 영역을 제거하고, 객체 영역을 깎아내는 효과를 낸다. 따라서

주어진 영상에 대해 모폴로지 침식 연산을 적용하게 되면 객체 영역의 외부가 제거되면서 동시에 잡음이 제거되는 결과를 얻을 수 있다. 한편 모폴로지 팽창 연산은 침식 영상의 반대 연산으로써 객체 영역과 잡음을 확장시킨다. 모폴로지 팽창 연산은 식 (2)과 같이 정의된다.

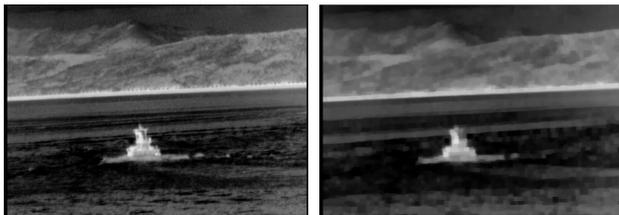
$$A \oplus B = \{x | [(\hat{B})_x \cap A] \subseteq A\} \quad (2)$$

침식과 팽창 연산을 조합하여 열림(opening) 연산과 닫힘(closing) 연산이 정의되는데, 모폴로지 열림 연산은 식(3)에서 보이는 것과 같이 침식 연산을 수행한 결과에 대한 팽창 연산으로 정의되며, 모폴로지 닫힘 연산은 식 (4)에 보이는 것과 같이 팽창 연산을 먼저 수행한 결과에 대해서 침식 연산을 수행한다.

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

침식 연산은 객체의 외곽을 깎아 내면서 노이즈 영역을 제거하고, 팽창 연산은 객체의 크기를 확장하기 때문에 열림 연산은 일반적으로 객체의 외곽선을 부드럽게 만들어주며 가늘게 돌출된 부위를 제거하고 잡음을 제거한다[7]. 따라서 본 논문에서는 입력 영상에서 잡음을 제거하기 위해 모폴로지 열림 연산을 수행한다. 또한 영상에 있는 물표 영역의 내부가 배경 영역으로 되는 경우가 발생하기 때문에, 이를 해결하기 위해서 모폴로지 닫힘 연산을 수행한다. 모폴로지 연산은 팽창 연산을 수행한 다음 침식 연산을 수행하기 때문에 영상의 물표 영역 내부를 채워주는 역할을 한다. 이와 같은 모폴로지 연산은 IR 영상에서 심하게 나타나는 잡음의 영향을 완화시키면서도 영역에서의 경계선을 유지한다. 그림 3에서는 모폴로지 연산을 이용하여 잡음을 제거한 결과 영상을 보여주고 있다.



(a) 입력 영상 (b) 잡음제거 결과

그림 3. 잡음 제거된 결과.
Fig. 3. Result of noise reduction.

2.2 이산 Haar 웨이블릿 변환

웨이블릿은 수학, 컴퓨터, 신호처리, 통신 등 다양한 분야에서 독립적으로 발전되었고 80년대 들어 웨이블릿에 대한 종합적인 이해가 이루어지면서 영상 압축, 레이더 신호, 생체 신호, 지진연구, 경제 등 다양한 분야에 응용되기 시작했다.

컴퓨터 비전에서 이용된 다해상도(multi-resolution) 분석 방법이나 음성과 영상압축에서 사용되던 서브밴드(sub-band) 코딩 기법, 응용 수학에서 사용된 웨이블릿 시리즈 전개 등 많은 기법들이 최근에 들어 웨이블릿 이론의

특수한 응용으로 발전된다[7].

본 논문에서는 이산 Haar 웨이블릿 변환을 이용하여 영상의 스케일별 수직, 수평과 대각선 성분들을 얻는다[8-9]. 이산 Haar 웨이블릿 변환은 식(5)과 식(6)를 통해 수평 방향으로 구현한 후 수직 방향으로 구현해서 그림 4에 나타난 것처럼 4개의 결과 영역을 생성한다.

$$X_{k,L}[n] = \frac{x[2n] + x[2n+1]}{2} \quad (5)$$

$$X_{k,H}[n] = \frac{x[2n] - x[2n+1]}{2} \quad (6)$$

여기에서 $X_{k,L}[n]$ 은 k번째 레벨에 있는 영상의 이웃 두 픽셀의 평균값을 나타내고, $X_{k,H}[n]$ 은 k번째 레벨에 있는 영상의 이웃 두 픽셀의 차이값을 나타내며, L은 lowpass 필터라고 하고 H는 highpass 필터를 의미한다. 본 논문에서는 L을 평균값으로 간주하며 H를 차이 값으로 간주한다.

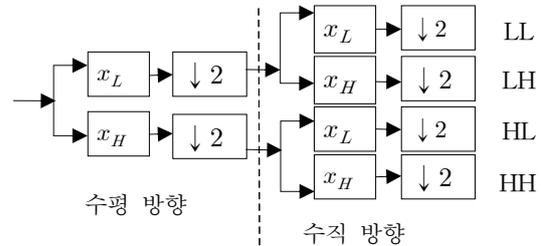


그림 4. 2-D DHWT에서 한 필터 스테이지.
Fig. 4. One filter stage in 2-D DHWT.

입력영상에 대해 이산 Haar 웨이블릿 변환을 수행하여 세 레벨의 웨이블릿 영상을 만들고 각각 영상들의 LL, HL, LH, HH 성분들을 생성한다. 여기서 LL은 근사값 영역 영상이고, LH은 수직 방향 에지 정보를 나타는 영역 영상이고, HL은 수평 방향 에지 정보를 나타는 영역 영상이고, 마지막 HH은 대각선 방향 에지 정보를 나타는 영역 영상을 각각 나타낸다. 그림 5에서는 세 레벨의 Haar 웨이블릿 분해의 구조를 보여준다. 그림 6에서는 잡음을 제거된 입력 영상을 받아서 이산 Haar 웨이블릿 변환을 다해상도로 수행하여 세 레벨로 만들어낸 결과 영상을 보여준다.

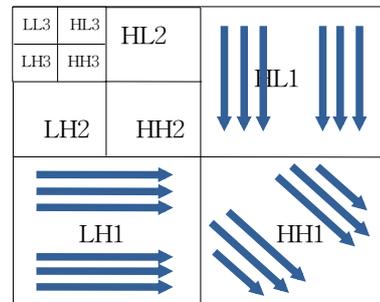
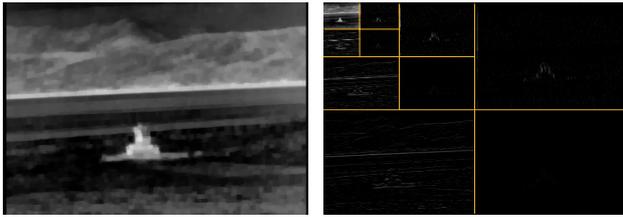


그림 5. 세 레벨의 Haar 웨이블릿 분해의 구조.
Fig. 5. Structure of Haar Wavelet decomposition of three levels.



(a) 잡음 제거된 입력 영상 (b) 웨이블릿 분해 결과 영상

그림 6. 이산 Haar 웨이블릿 변환의 결과
Fig. 6. Result of Discrete Haar Wavelet Transform

2.3 Saliency map 생성

다해상도 웨이블릿 영상에서 각 HL, LH 에지 성분들에 가우시안 블러링을 식 (7)을 이용하여 수행한다.

$$G_{\sigma}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

여기서 x 와 y 는 2차원 영상의 x 방향과 y 방향이고 σ 는 표준 편차이며 본 논문에서는 값을 1로 하였다.

수직 및 수평 방향으로 동시에 에지가 나타나는 영역은 선박이나 부표와 같은 해양 환경에서의 물표가 만들어내는 에지인 경우가 대부분이기 때문에 각 레벨에서 블러링된 LH, HL 에지 성분들 서로 곱해주어 해양 물표의 특징을 고려한다. 그런 다음 각 레벨에서 곱한 영상들을 하나의 영상으로 통합한다. 식(8)(9)는 이를 위한 수식을 보인다.

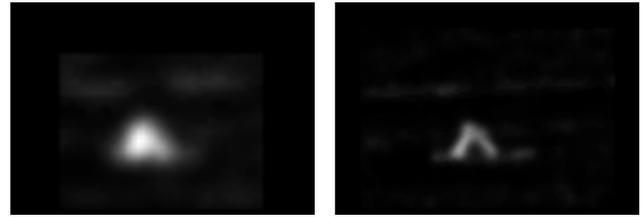
$$\begin{aligned} SM_{1-level} &= |HL_1 * LH_1| \\ SM_{2-level} &= |HL_2 * LH_2| \\ SM_{3-level} &= |HL_3 * LH_3| \end{aligned} \quad (8)$$

$$SM = SM_{1-level} + SM_{2-level} + SM_{3-level} \quad (9)$$

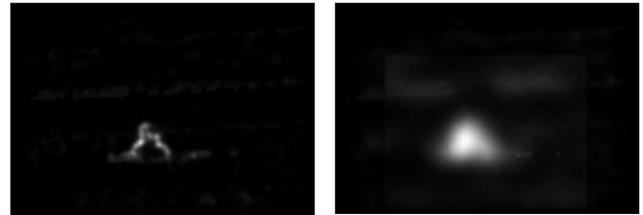
여기서는 HL은 수평 에지 정보를 나타내며, LH은 수직 에지 정보를 나타낸다. $SM_{1-level}$, $SM_{2-level}$, $SM_{3-level}$ 은 각각 첫 번째, 두 번째, 세 번째 레벨에서의 수직 및 수평 방향 에지들의 서로 곱한 결과이다. SM은 수식으로 만들어진 saliency map이다. 그림 7은 saliency map을 보여준다.

2.4 물표 영역 추출

Saliency map에 이진화를 수행하여 물표 후보 영역을 추출한다. 그림 8(a)은 saliency map에 이진화를 수행한 물표 후보 영역을 보여준다. 물표 후보 영역에 모폴로지 열기 연산을 수행하여 최종적인 물표 영역을 추출한다. 그림 8(b)는 최종적인 물표 영역을 추출한 결과를 보여준다.

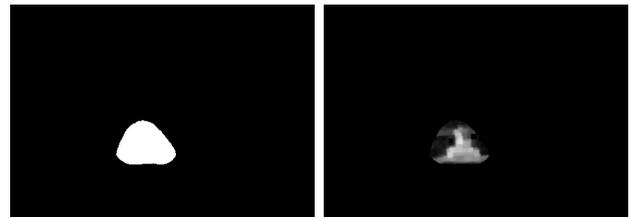


(a) SM3-level 결과 영상 (b) SM2-level 결과 영상



(c) SM1-level 결과 영상 (d) saliency map

그림 7. Saliency map 생성
Fig. 7. Generation of Saliency map



(a) saliency map을 이진화한 결과 (b) 최종 결과

그림 8. 물표 영역 추출
Fig. 8. Extraction of object regions

3. 실험 결과

본 논문에서 제안한 방법의 타당성을 보이기 위해 다양한 해양 IR 영상에 대해 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 영상은 해양 환경에서 야간 선박 항행 중에 취득한 IR 영상으로 480x320와 720x480 해상도를 갖는다. 그림 9(a)(b)는 입력영상과 잡음이 제거된 영상을 보이고 있으며, 그림 9(c)는 웨이블릿 변환을 3단계 수행한 결과를 보이고 있다. 그림 9(d)(e)(f)(g)는 각 단계에서 얻어낸 saliency map과 그것들을 통합한 saliency map을 보이고 있으며, 그림 9(h)는 saliency map을 이진화한 후 고립된 영역을 제거한 최종 결과를 보이고 있다. 또 그림 10(a)는 잡음이 제거된 영상들, (b)는 saliency map의 결과 영상들을 보이고 있으며, 그림 10(c)는 물표 영역을 추출한 최종 결과 영상들을 보여준다. 실험 결과는 제안된 방법이 해양환경에서 효과적으로 물표를 추출할 수 있음을 보인다.

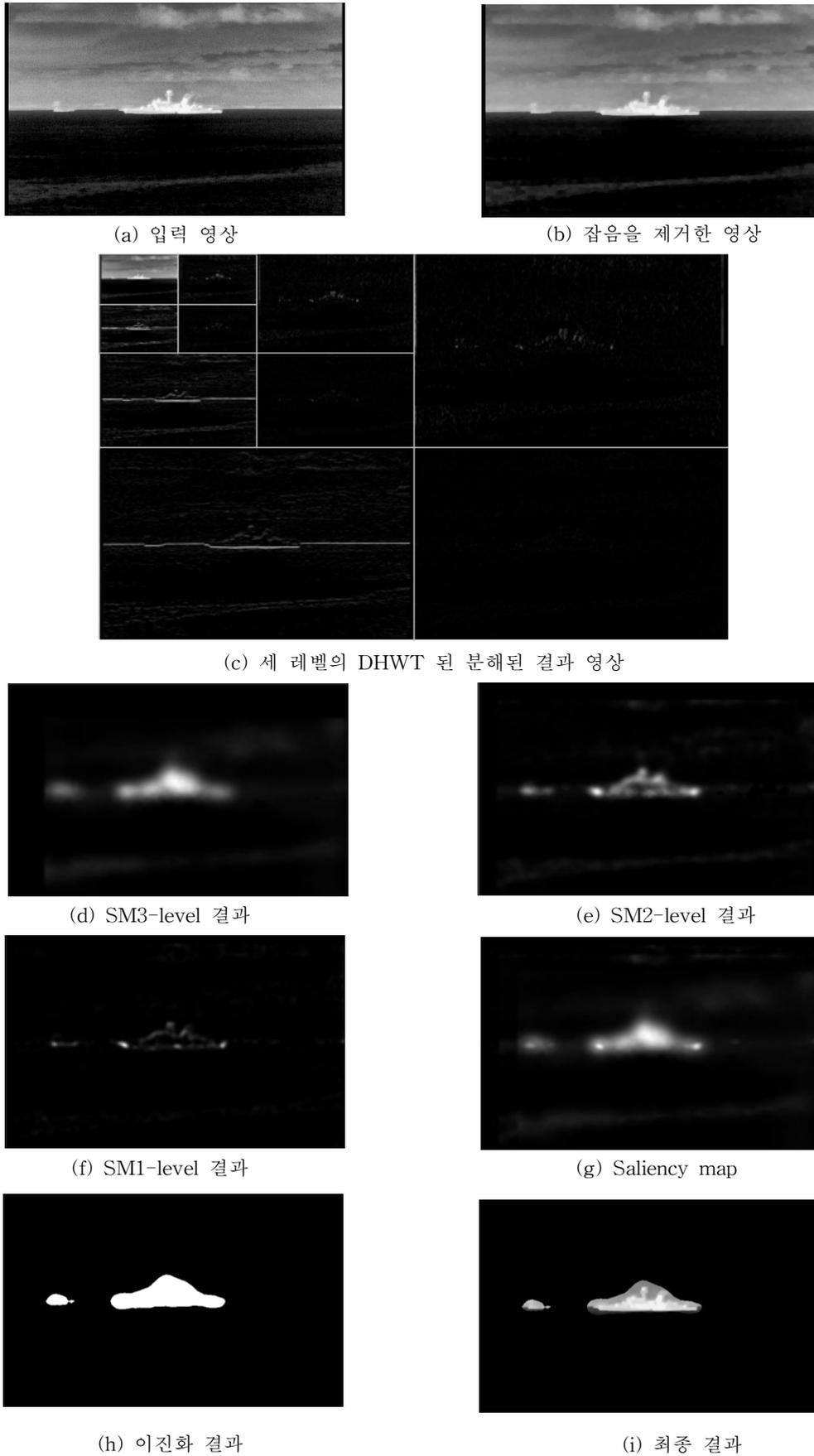
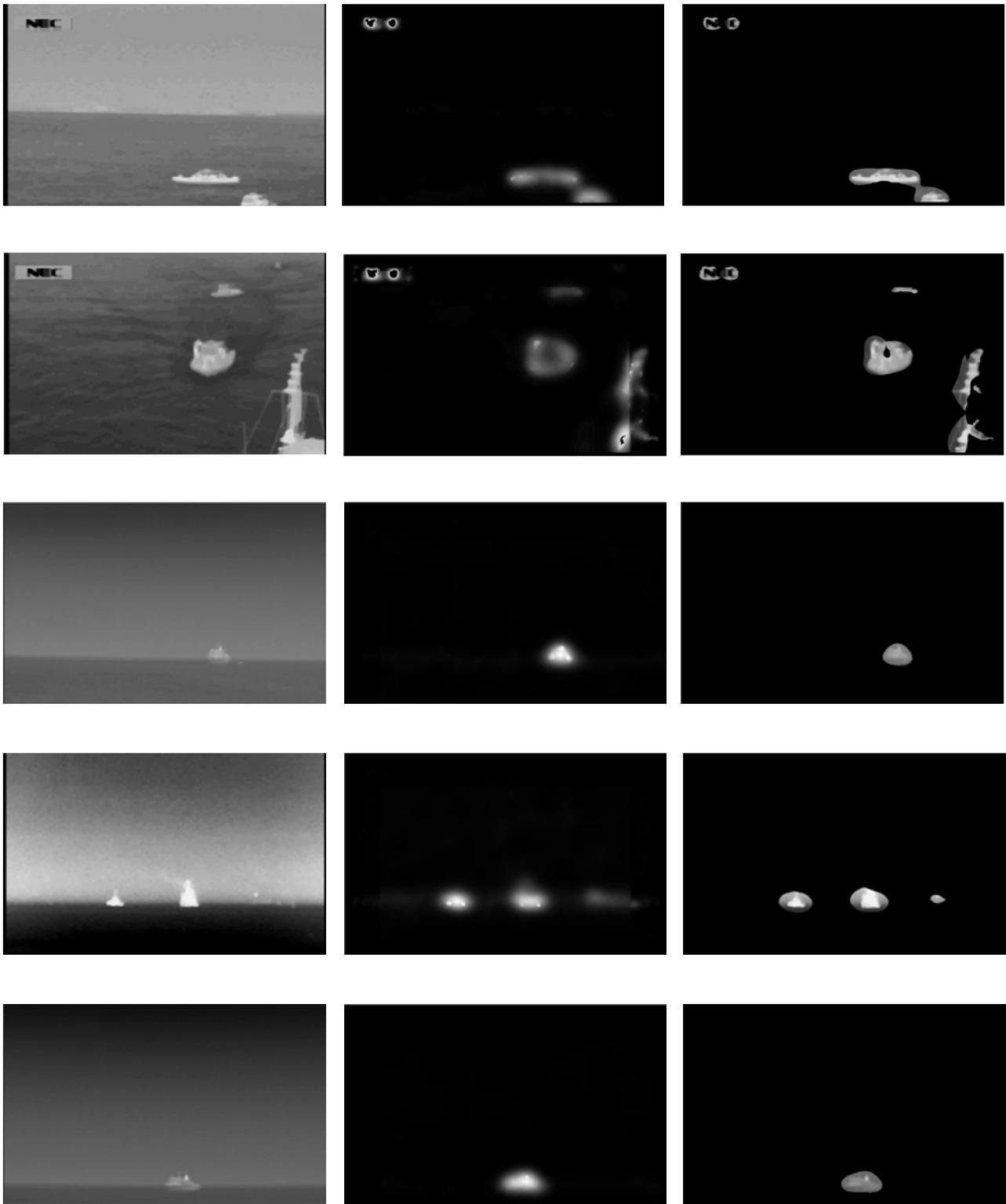


그림 9. 실험 결과 1.
Fig. 9. Experimental results 1.



(a) 잡음을 제거한 입력 영상

(b) Saliency map 결과 영상

(c) 물표 영역 추출 결과 영상

그림 10. 실험 결과 2.
Fig. 10. Experimental results 2.

4. 결론

본 논문에서는 IR 영상에서의 해양환경에서 웨이블릿 변환을 이용한 크기 변화에 무관한 물표 탐지 알고리즘을 제안하였다. 입력 영상의 잡음을 제거한 후 이산 Haar 웨이블릿 변환 기법을 이용하여 다해상도 영상의 수직, 수평과 대각선 성분들을 생성한다. 그런 다음 해양 물표 특징을 고려하여 세 레벨의 수직 및 수평 에지 영상들에 대하여 가우시안 블러링을 수행하고 서로 곱한 후 하나의 영상으로 통합하여 saliency map을 생성한다. Saliency map에 대하여 이진화를 수행하여 물표 후보 영역을 추출한 후 마지막으로 물표 후보 영역의 소 영역을 제거하여 최종적인 물표 영역을 추출하게 된다. 실험결과, 제안된 알고리즘으로 다양한 IR 영상에서 크기 변화에 무관하게 물표를 탐지할 수 있음을 확인하였다. 제안된 알고리즘은 선교의 다른 항해 보조 장비와 함께 선박의 안전 운항에 중요한 정보를 제공할 수 있다.

향후 동영상에서 움직임 정보를 이용한 물표 추출 방법에 대한 연구가 필요하다.

References

- [1] S. Gaarder, K. Rongstad, M. Olofsson, "Impact of human elements in marine risk management", Guedes Soares C., Advances in safety and reliability, pp. 857-898, Pergamon, 1997.
- [2] F. Porikli, "Achieving Real-Time Object Detection and Tracking Under Extreme Conditions", Journal of Real-time Image Processing, Vol. 1, pp. 33-40, 2006.
- [3] K. T. Park and J. Jeong, "Object Detection Algorithm in Sea Environment Based on Frequency Domain", Journal of Korean Institute on Intelligent Systems, Vol. 22, 2012.
- [4] J. Jeong and G. Park, "Object Detection Method in Sea Environment using Fast Region Merge Algorithm", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 22, 2012.
- [5] Kamrul Hasan Talukder and Koishi Harada, "Haar Wavelet Based Approach for Image Compression and Quality Assessment of Compressed Image," IAENG International Journal of Applied Mathematics, pp. 1-6, 2007.
- [6] Tanja Y.C. van Valkenburg-van Haarst and Krispijn A Scholte, "Automatic Detection in a Maritime Environment using Super-Resolution", SPIE 7834, Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications VII, 2010.
- [7] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital image processing 3rd Ed*, Prentice Hall, 2010.
- [8] Dhaha Dia, Medien Zeghid, Taoufik Saidani, Mohamed Atri, Belgacem Bouallegue, Mohsen Machhout and Rached Tourki, "Multi-level Discrete Wavelet Transform Architecture Design", Proceedings of the World Congress on Engineering,

Vol. 1, pp. 1-2, 2009.

- [9] E. J. Stollnitz, T. D. DeRose and D. H. Salesin, "Wavelets for Computer Graphics: A Primer Part I", IEEE Computer Graphics and Applications, pp.1-6, 1995.

저 자 소 개



바자르와느 바담체렐 (Badamtseren Bazarvaani)

2011년 : 몽골 후레대학교
전자통신컴퓨터공학과 졸업
2011년~현재 : 목포해양대학교 해양전자,
통신, 컴퓨터공학과
석사과정

E-mail : badmaa.b@hotmail.com



박기태(Ki Tae Park)

2000년 : 한양대학교 전자.컴퓨터.전기.
제어공학부 공학사
2002년 : 한양대학교 대학원 컴퓨터공학
공학석사
2007년 : 한양대학교 대학원 컴퓨터공학
공학박사
2007년~2009년 : 삼성전자 무선사업부 책임연구원
2009년~2011년 : 한양대학교 BK21 사업단 연구조교수
2011년~현재 : 한양대학교 기초·융합교육원 조교수

관심분야 : Object segmentation, Image retrieval, Image enhancement

Phone : +82-31-407-8991

E-mail : parkkt@hanyang.ac.kr



정종면(Jongmyeon Jeong)

1992년 : 한양대학교 전자계산학과 공학사
1994년 : 한양대학교 대학원 전자계산학과
공학석사
2001년 : 한양대학교 대학원 컴퓨터공학과
공학박사
2001년~2004년 : 한국전자통신연구원
선임연구원

2008년~2009년 : The Ohio State University Visiting Scholar

2004년~현재 : 목포해양대학교 해양컴퓨터공학과 부교수

관심분야 : 영상처리, 머신비전, 디지털 방송,
MPEG-2,4,7,21 응용

Phone : +82-61-240-7263

E-mail : jmjeong@mmu.ac.kr