

ISAR 이미지 중첩을 통한 표적 윤곽선 추출 방안 연구

곽재웅*, 하용훈**

A Study on Extracting Target Contour by Overlapping ISAR Images

Jaewoong Kwag*, Yonghoon Ha**

요 약

ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar)는 해상표적 식별수단으로 기상이나 주야(晝夜)에 관계없이 원거리에서 운용 가능한 장점이 있다. 그러나 현재의 ISAR 분석방식에는 인지적인 요소가 절대적으로 반영되기 때문에 분석 결과의 정확성과 객관성이 낮다. 본 연구에서는 표적 분석에 활용되는 ISAR 영상의 프레임 선정 과정에 분석가의 주관이 반영됨으로써 발생하는 표적 분석 결과의 신뢰성 및 정확도 저하 문제를 해소하기 위해 다수의 ISAR 영상 프레임에서 추출한 이미지들을 단일 이미지로 중첩하여 분석하는 방법을 제시했다. 중첩된 ISAR 영상과 일반적인 ISAR 영상 간의 픽셀값 분석을 통해 중첩 ISAR 영상이 표적 분석에 유리함을 확인했으며, 컴퓨터가 표적을 인식할 수 있도록 픽셀값 분석 기반의 표적 윤곽선 추출방법을 통해 기존의 인지적 ISAR 분석 방법에서 발생할 수 있는 한계를 극복하였다.

Abstract

ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) is a means of identifying maritime targets and has the advantage of being able to operate at long distances regardless of weather condition and day or night. However, the analysis results are less accurate and objective because cognitive factors are absolutely reflected in ISAR analysis methods. In this study, the method of overlaying images extracted from a number of ISAR image frames as a single image was presented to solve the problem of reduced reliability and accuracy of the target analysis results caused by the reflection of the analyst's subjectivity in the frame selection process of ISAR images used for target analysis. Pixel value analysis between nested ISAR images and general ISAR images confirmed that overlaid ISAR images were advantageous for target analysis, and the limitations that could arise from traditional cognitive ISAR analysis methods were overcome by presenting a pixel-value analysis-based target contour extraction method to enable computers to recognize targets.

Keywords

ISAR, target detection and classification, Image overlay, contour

* 국방대학교 국방과학학과 무기체계전공 석사과정

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2832-3034>

** 국방대학교 국방과학학과 무기체계전공 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2516-9510>

• Received: Sep. 16, 2020, Revised: Sep. 28, 2020, Accepted: Oct. 01, 2020

• Corresponding Author: Yonghoon Ha

Dept. of Defence Science, Korea National Defence University, Chungnam, Korea

Tel.: +82-41-831-5323, Email: yonghoonha@mnd.go.kr

I. 서 론

ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) 영상은 레이다가 고정된 상태에서 움직이는 표적에 대해 전자파를 방사할 때, 표적으로부터 수신된 데이터들을 신호 처리하여 형성된 표적의 2차원 영상이다. 해상표적의 경우, 해상환경(Sea-state)에 의해 표적의 3축 움직임이 발생하며, 이를 통해 도플러 변화가 발생한다. ISAR는 자외선, 가시광선 대비 장파장을 이용하기 때문에 대기 중 전파 흡수율이 상대적으로 낮아 기존의 광학, 적외선 영상과는 달리 주야와 관계없이 관측이 가능하고 기상 상태에 영향을 받지 않는다는 장점이 있다[1][2]. 특히, 한반도 해무일수는 서해는 평균 103.6일(백령도 기준), 동해는 평균 40.2일(울릉도 기준)로[3] 임무 수행 중 해무에 노출될 가능성이 상시 존재하기 때문에 한반도 해상 환경에서의 ISAR 운용능력은 필수적이다. 또한, 해상에서는 대잠항공기-표적 간 LOS(Line of Sight) 상 장애물이 거의 존재하지 않기 때문에 항공기의 비행고도에 따른 최대 범위의 ISAR 탐지영역을 상시 유지할 수 있어 해상 원거리 표적 식별수단으로써 매우 이상적이다.

해상작전 항공기에서 ISAR 기능을 수행하면 표적 도플러 변화에 기인한 표적 영상이 전시된다. 기내에서 분석관은 실시간 변화하는 ISAR 화면을 주시하면서 양호하다고 판단되는 영상이 전시되는 순간의 이미지를 캡처하여 분석한다. 이러한 분석방식의 문제점은 다음과 같다. 대부분 표적의 광학 또는 적외선 영상이 확보되지 않은 상태에서 ISAR 분석이 수행되기 때문에 분석가는 어느 ISAR 영상 프레임이 표적과 유사한지 알 수 없다. 또한, ISAR에서 전시되는 표적 형상은 대부분 명확하지 않기 때문에 영상 캡처와 분석 과정에서 필연적으로 분석가의 개인적 주관에 상당 부분 반영된다. 이러한 경우, 분석가 개인별로 분석을 위해 선정하는 영상 표본뿐만 아니라 분석 결과도 상이할 가능성이 상존(常存)한다. 분석가별 표적 분석 결과의 차이는 분석 결과에 대한 신뢰도와 정확도를 떨어뜨리고, 특히, 잘못된 영상 표본을 선택하여 분석하는 경우 표적 오식별 확률이 매우 높아질 것이다.

ISAR 영상의 모든 프레임은 표적의 형상에 근거

하여 전시되기 때문에 표적 형상정보를 일정 수준 포함하고 있다고 가정할 수 있다. 본 논문에서는 분석가별 주관에 따라 상이한 영상 표본 선정 방식의 차이를 최소화하기 위하여 다수의 ISAR 영상 프레임별 이미지를 활용하였다. 프레임별 다수의 ISAR 이미지를 중첩하고 이를 분석함으로써 주관에 의해 선정된 소수의 이미지를 바탕으로 분석하던 기존 방식의 한계를 극복하였다. 또한, 인간의 인지적 관점에서의 ISAR 영상 분석방식에서 벗어나 컴퓨터를 이용하여 표적 형상을 인식하기 위한 윤곽선 추출방법을 제시함으로써 분석 결과의 객관성과 정확성 향상을 도모하였다.

II. 관련 연구

2.1 다수 ISAR 이미지 분석

다수 ISAR 이미지를 이용한 ISAR 분석은 주로 국외에서 수행되었다. Atsuto Maki[4] 등은 연속적인 프레임에 대한 다수의 ISAR 이미지에 CMSM(Constrained Mutual Subspace Method) 기법을 적용하여 형상 이미지의 부분 분석 방법을 통한 선박의 자동 식별 시스템을 제안한다. 이 연구는 ISAR 이미지의 거리 프로파일 분석을 바탕으로 수행되었으며, 트레이닝 이미지 세트와 테스트 이미지 세트 간 ISAR 거리 프로파일 비교를 통해 자동 식별효과를 증명한다. D. Pastina[5] 등은 연속 ISAR 이미지들의 특징들과 해당 표적에 기반한 모델링 결과와 비교하는 2단계 다중 특징 기반 기법을 통한 ISAR 표적 형상의 자동 식별 방법을 제시한다. ISAR 이미지의 표적 형상과 표적의 Aspect별 크기에 대한 비교분석을 추가로 병행함으로써 식별 효과의 향상뿐만 아니라 분석에 사용된 연속 ISAR 이미지의 수와 분석 정확도가 정비례함을 증명한다. Csaba Benedek[6]은 연속 ISAR 이미지 프레임의 표적 형태 간 기하학적 상호 작용과 표적 이미지 골격 분석에 중점을 둔 이동 표적의 식별 방법을 제시한다. 이미지 분석을 위해 연속된 ISAR 이미지들의 클러스터 처리와 형상 이미지의 특징점 추출을 위한 반복적인 최적화 프로세스를 통해 영상 내 클러스터 개선 효과를 증명한다.

선행연구들에서는 모델링을 통해 생성한 ISAR 이미지를 바탕으로 연구가 진행되었으며, 표적 형상의 일부 특징(거리 프로파일, 골격, 길이 등)에 기반한 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 실제 수집된 ISAR 영상을 활용하였으며, 중첩 ISAR 이미지에서 추출한 윤곽선에 기반한 분석을 수행하였다.

2.2 프레임별 이미지 중첩

프레임별 이미지 중첩 방법은 박운기 등[7]의 시간영역의 잡음 제거를 위한 IIR 필터를 참고하였다. 동영상에서 같은 위치의 화소값이 시간적으로 미세하게 변하는 경우, 인간의 눈이 느끼는 주관적인 화질이 떨어진다. 이를 보완하기 위해 식 (1)과 같이 이전 영상과 현재 영상의 화소값에 대해 가중치를 부여하여 변화를 감소시키는 방법을 제시한다[8].

$$P_{out}(t) = a \times P_{in}(t) + (1 - a) \times P_{out}(t-1) \quad (1)$$

여기서 a 는 가중치를 의미하며, $P_{in}(t)$ 는 현재 프레임의 해당 위치 화소값이고, $P_{out}(t)$ 는 필터 처리 후의 화소값이며, $P_{out}(t-1)$ 은 이전 프레임의 필터 처리 후 화소값이다. 식 (1)을 통해 현재와 이전 영상의 화소값을 이용하여 새로운 화소값 $P_{out}(t)$ 를 만들어낸다. 가중치 a 는 해당 영상 영역의 성질에 따라 표 1과 같이 적응적으로 적용되며, 가중치를 적용하는 기준인 변화폭 $P_{difference}$ 는 식 (2)와 같다.

표 1. 시간 방향의 IIR 필터를 위한 LUT
Table 1. LUT for temporal IIR filter

$P_{difference}$	a
0~10	0.5
11~20	0.7
21~25	0.8
26~	1

$$P_{difference} = |P_{in}(t) - P_{out}(t-1)| \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여 구해진 $P_{difference}$ 가 10 이하인 경우, $P_{in}(t)$ 과 $P_{out}(t-1)$ 의 평균값이 $P_{out}(t)$ 이

된다. $P_{difference}$ 가 25보다 큰 경우에는 시간 영역의 클러터라기보다는 원(原) 영상 자체 내의 변화일 가능성이 크기 때문에 필터 처리가 적용되지 않는다.

해당 연구는 일정한 상관관계가 있는 전후 프레임의 픽셀 변화에 초점을 맞췄다. 본 연구에서 다루는 ISAR 영상도 표적 형상에 근거하여 프레임별 일정 수준의 픽셀 변화가 발생한다는 측면에서 유사한 부분이 있다. 가중치와 관련하여, 표적의 형상 정보를 바탕으로 이와 유사한 프레임의 ISAR 이미지에 높은 가중치를 부여하여 합성하는 것이 바람직하다. 하지만, 실제 작전환경에서는 광학장비로 식별이 어려운 표적에 ISAR가 적용되며, 대부분 실제 표적의 정확한 형상정보가 없는 상태에서 ISAR 영상 분석이 수행된다. 본 연구에서는 정확한 표적 형상정보가 없는 환경을 바탕으로 ISAR 영상 프레임간 우열을 가릴 수 없는 분석환경을 가정하였기 때문에, 가중치를 배제하고 연속 ISAR 이미지를 중첩하였다.

III. ISAR 이미지 중첩 방법 및 결과 분석

본 연구에는 그림 1과 같이 총 15개의 민간 선박을 대상으로 실제 촬영된 ISAR 영상을 활용했으며, 표적별 중첩에 사용된 이미지 개수는 표 2와 같다.

연속 ISAR 이미지 중첩 개념은 다음과 같다. 먼저, 분석할 ISAR 영상의 프레임들을 사진 파일로 저장한 뒤 픽셀 정보를 입력한다. ISAR 영상은 회색조로 처리되기 때문에 흑색에 가까울수록 픽셀값은 0으로, 백색에 가까울수록 픽셀값은 255에 근접한다. 해당 영상에서 표적 형태를 구성하는 픽셀들은 백색에 가까운 값을 가지기 때문에 픽셀값이 255에 가까울수록 실표적 형상정보가 담긴 픽셀이라고 할 수 있다.

표 2. 중첩에 사용된 ISAR 이미지 개수
Table 2. Number of ISAR images used for overlay

Target number	1	2	3	4	5
Number of images	11	20	20	21	8
Target number	6	7	8	9	10
Number of images	6	20	20	60	10
Target number	11	12	13	14	15
Number of images	8	8	30	11	11

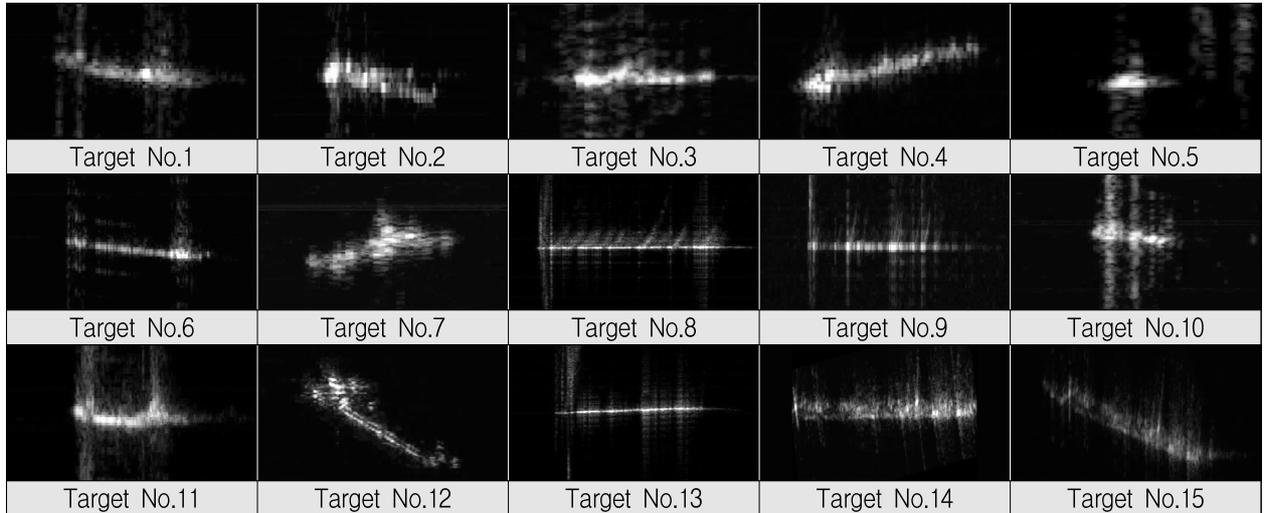


그림 1. 표적 번호별 ISAR 이미지 표본
 Fig. 1. ISAR image samples by target number

ISAR 영상에는 표적의 형상과는 관계가 없으나 형상을 구성하는 픽셀값과 유사한 값을 가진 픽셀들도 항상 존재하는데 이를 클러스터 픽셀로 정의할 수 있다. 원활한 표적 분석을 위해서는 이러한 클러스터 픽셀들을 최대한 억제해야 하는데, 이를 위해 ISAR 영상의 모든 프레임을 사진 파일로 추출한 뒤, 사진 파일들의 동일 픽셀 위치의 픽셀값들을 합하고 사용된 사진 파일의 개수만큼 나눔으로써 중첩 이미지를 획득하였다. 이 과정을 통해 표적과 무관한 픽셀에 단편적으로 시각적인 정보가 담겨있었다 하더라도 전체 프레임을 합산하는 과정에서 픽셀값이 증가하는 경향이 둔화될 것이다. 반대로 표적의 형상과 유관한 픽셀의 경우, 일부 프레임에서 픽셀값이 낮을지라도 전체 프레임을 더하는 과정을 통해 픽셀값이 증가하는 경향은 두드러질 것이기 때문에 형상을 구성하는 픽셀 대비 클러스터 픽셀값의 증가를 상대적으로 억제할 수 있다.

3.1 ISAR 이미지 중첩 방법

동영상 포맷의 ISAR 데이터를 이미지 중첩작업을 위해 프레임별로 캡처하는 작업을 수행한다. 캡처 시 조리개 시간(Aperture Time)을 고려하여 이미지가 중복으로 저장되지 않도록 유의해야 하며 캡처된 이미지들을 회색조로 변환시킨다.

ISAR 표적 형상은 지정된 조리개 시간마다 표적

움직임에 따른 전자파의 도플러 신호 변화에 의해 지속해서 화면에 전시된다. 정확한 영상 합성을 위해 프레임별 ISAR 이미지들은 표적 형상의 중심점이 특정 위치에 고정된 상태에서 일정 벡터로 정렬되어 있어야 한다.

그림 2는 7번 표적 영상에 대해 이러한 과정을 설명한 것이다. ISAR 형상의 중심점을 구하기 위해 형상의 가장 좌측 픽셀 $P_L(x_L, y_L)$ 과 가장 우측 픽셀 $P_R(x_R, y_R)$ 을 선정된 뒤 가상 수평선에 대한 회전각(θ)을 산출하여 ISAR 형상이 가상 수평선에 평행하도록 정렬한다. 이후 P_L 과 P_R 을 바탕으로 중심점인 P_C 를 구한 뒤, P_C 를 기준으로 x, y축 방향으로 일정 구간 내의 이미지 영역만 취함으로써 프레임별 ISAR 이미지를 정렬시켰다.

앞의 과정들을 거쳐 정렬된 이미지들은 중첩 과정을 통해 하나의 이미지로 통합된다. 식 (3)과 같이 앞서 전처리된 이미지들의 동일 픽셀 위치의 값들을 모두 합산한 평균을 이미지로 재구성함으로써 중첩된 ISAR 이미지를 획득하였다. 여기서 $I(x_n, y_m)$ 은 중첩된 이미지의 n행, m열의 픽셀값이며, k는 중첩에 사용된 이미지 개수, $I_k(x_n, y_m)$ 은 전처리된 이미지들의 n행, m열의 픽셀값이다.

$$I(x_n, y_m) = \frac{1}{k} \sum_{1}^k I_k(x_n, y_m) \tag{3}$$

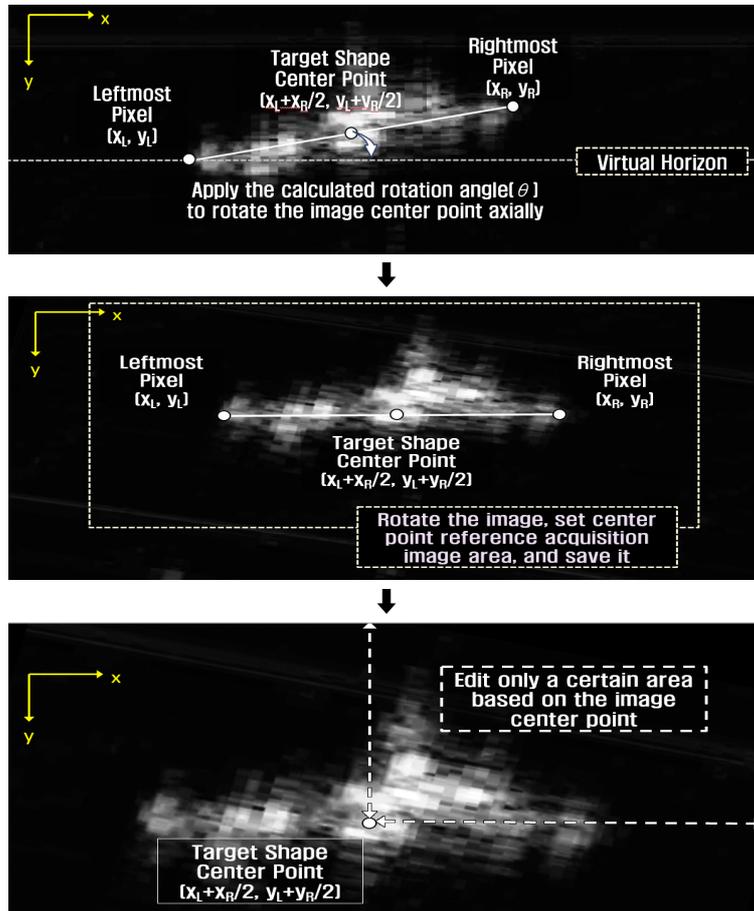


그림 2. 이미지 전처리 과정
Fig. 2. Image pre-processing sequence

3.2 중첩결과 분석

ISAR 영상은 표적의 도플러 변화에 기인하여 생성되기 때문에, 표적 형상과는 무관한 클러스터 픽셀이 상시 존재한다. 이러한 클러스터 픽셀들로 인해 ISAR 영상은 일반적인 광학 영상과 비교하여 표적과 배경의 분리가 난해하다. 일반적인 선박 이미지를 살펴보면, 그림 3과 같이 이미지의 열 축을 기준으로 배경 픽셀값이 낮게 유지되다가 표적 영역으로 진입하면서 픽셀값이 상승한 뒤 다시 배경영역으로 진입하면서 픽셀값이 다시 낮게 유지됨을 확인할 수 있다.

열별 행 픽셀값이 일정하게 증감하지 않는 경우, 열별 표적 형태를 구성하는 행의 범위를 추정하기 어려워진다. 이미지의 열별 행 성분의 픽셀값 증감이 빈번하고 급격할수록 표적 형태 파악이 어려울 뿐만 아니라 표적 형태와 관계없는 클러스터 픽셀의 발생 가능성 또한 높아질 것이다.

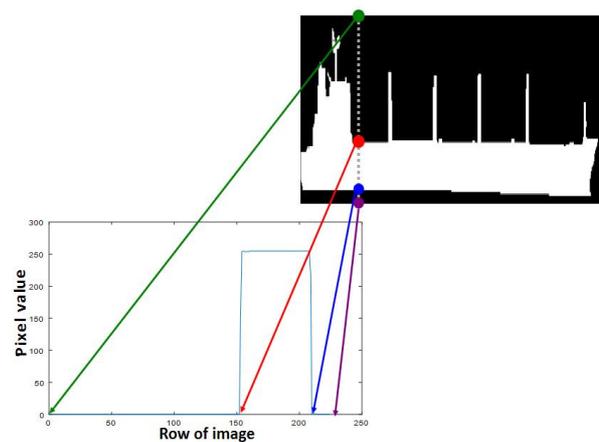


그림 3. 배경과 표적 영역 간 픽셀값 변화 예시
Fig. 3. Example of pixel value change in target and background area

그림 4는 1번 표적의 중첩 ISAR 이미지와 일반 ISAR 이미지들의 310번째 열의 픽셀값 히스토그램이다. (b), (c), (d)가 (a)보다 픽셀값 증감 추이가 일정하지 않음을 확인할 수 있다.

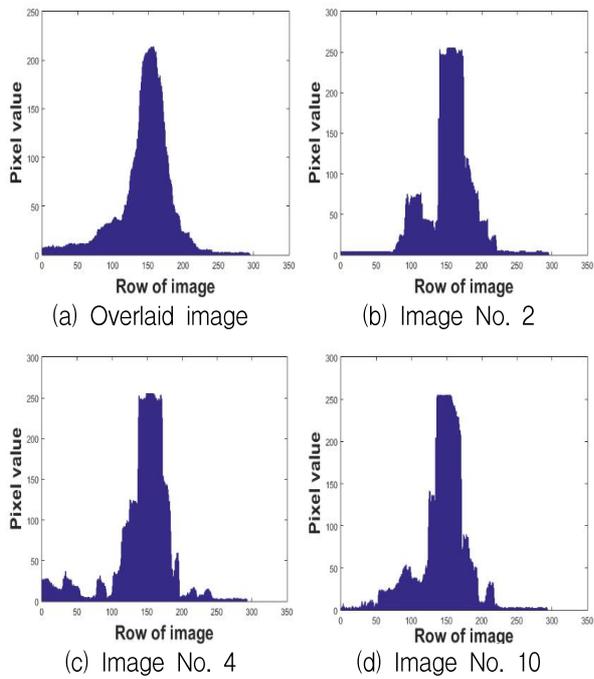


그림 4. 1번 표적 중첩/일반 ISAR 이미지의 300번째 열 픽셀값 히스토그램

Fig. 4. Histogram of pixel values in 300th column between overlaid/normal ISAR images of target 1

표적 형상 파악을 위한 문턱(Threshold) 픽셀값을 적용하였을 때, (a)의 경우 문턱 픽셀값이 변화하더라도 문턱 픽셀값을 상회하는 행 구간이 비교적 연속적이다. 하지만 (b), (c), (d)의 경우 단절되는 행 구간이 (a)에 비해 상대적으로 다수 발생하며, 비연속적인 성향을 보인다. 이러한 비연속적 성향은 이

미지 내 클러스터 발생 확률을 높일 뿐만 아니라 정밀한 표적 형상 분석을 방해하여 표적 형상 인식에 불리하게 작용한다. 결과적으로 각 열의 행 픽셀값 증감 추이가 일정할수록 영상 분석에 유리하다고 할 수 있다.

중첩 이미지와 일반 이미지 간 각 열의 행 픽셀값 증감 추이 비교를 위해 열별 행 구간에서 음의 기울기를 가지는 구간 개수와 기울기 크기를 산출하고 비교하였다. 그림 5는 음의 기울기를 산출하는 예로서, 그림 4에서 (d)의 1~10행까지 행별 픽셀값이며, 음의 기울기를 가진 구간 개수는 총 3구간임을 확인할 수 있다. 음의 기울기 크기는 이 3구간의 음의 기울기 값의 평균을 의미하며, 그림 5의 예에서 음의 기울기 값은 -2이다.

음의 기울기 구간 개수 및 크기 산출 시 2가지 사항이 고려되었다. 먼저, 해상표적 분석은 주로 표적의 상부 형상을 바탕으로 수행하기 때문에 이미지 최상부에서 표적 중심부까지의 행으로 범위를 한정하여 값을 구하였다. 표적 중심부 행의 기준은 열별 최대 픽셀값을 가지는 행(C_{max})을 표적의 중심으로 가정하고 1행부터 C_{max} 까지의 음의 기울기 구간 개수 및 기울기 크기를 구하였다. 그림 3의 (a)를 예로 들면, 158번째 행이 최대 픽셀값인 214를 가진 C_{max} 이기 때문에 310열에서 음의 기울기 구간 개수와 크기를 구하는 구간은 1행부터 158행까지라고 할 수 있다.

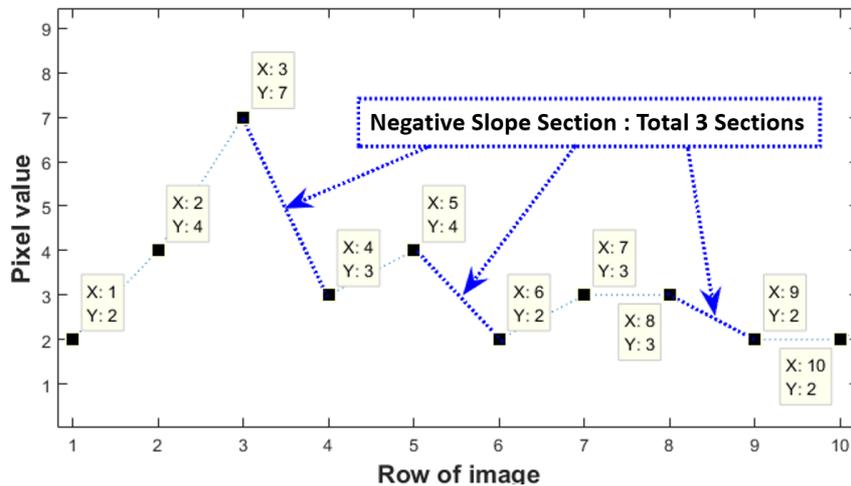


그림 5. 음의 기울기 관련값 산출 예시

Fig. 5. Example of calculating negative slope-related values

두 번째로, 이미지의 행 크기 비율을 적용하여 음의 기울기 개수 및 크기를 구하였다. 행 크기 비율을 적용한 이유는 ISAR 이미지의 크기가 표적별로 상이하기 때문에 보편적인 결과를 도출하기 위함이다. 이미지의 행 크기 비율을 적용하여 1행을 기준으로 음의 기울기 관련 값을 산출하는 경우, 계

산에 누락되는 행이 발생한다. 모든 행의 픽셀값을 분석하기 위해 그림 6과 같이 그룹별로 구분하여 음의 기울기 관련 값을 모두 산출하였으며, 분석이 시작되는 픽셀 위치는 1, 2행으로 총 2개의 그룹이 존재함을 확인할 수 있다.

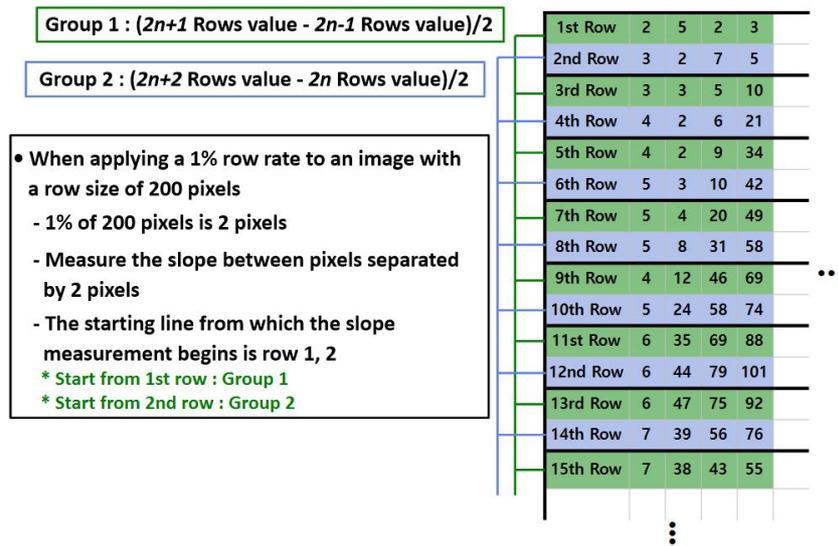


그림 6. 행 크기 비율 적용 예시
Fig. 6. Example of applying row size ratio

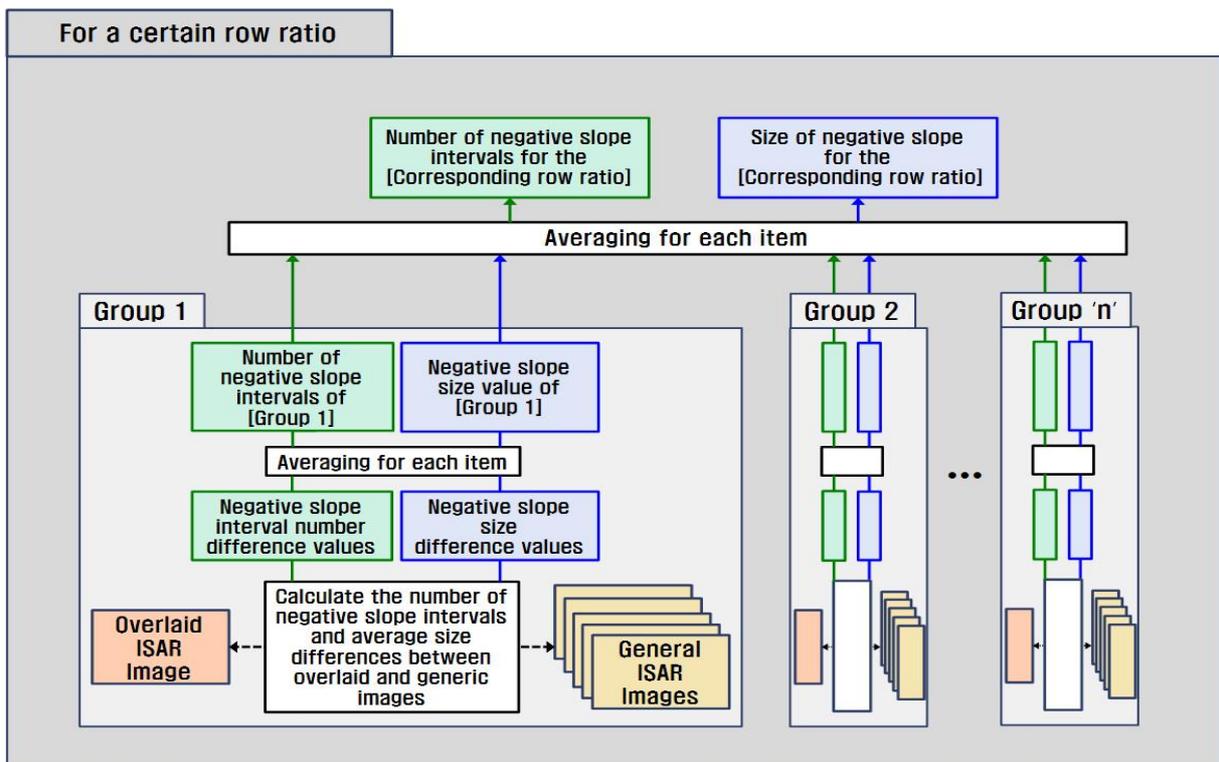


그림 7. 그룹별 음의 기울기 관련값 계산 과정
Fig. 7. Process for calculating the negative slope related values by group

그림 7과 같이, 행 비율에 대한 그룹별 중첩 ISAR 이미지와 중첩에 사용된 모든 일반 ISAR 이미지들의 음의 기울기 구간 개수 및 크기를 구한 뒤 각 값의 차이에 대한 평균을 구한다. 이를 다른 모든 그룹에 적용한 뒤 그룹별로 산출된 음의 기울기 관련 차이 값들을 최종 평균함으로써 이미지 행 비율별 음의 기울기 관련 값을 산출하였다. 이미지 행 비율별 중첩-일반 ISAR 영상 간 음의 기울기 관련 값의 차이는 표 3과 같다.

표 3. 이미지 행 비율에 따른 중첩-일반 ISAR 이미지 간 음의 기울기 구간 개수 및 평균 크기 차이
Table 3. Overlaid by image row ratio-number of negative slope intervals and difference in average size between generic ISAR images

Category		1%	2%	3%
Tgt.	Number of sections	-5.3895	-2.9573	-1.8238
No.1	Slope size	1.2574	0.6653	0.5829
Tgt.	Number of sections	-4.6563	-2.2241	-1.3191
No.2	Slope size	0.9900	0.7021	0.4709
Tgt.	Number of sections	-6.0721	-2.8818	-1.9906
No.3	Slope size	2.1945	1.5262	1.1872
Tgt.	Number of sections	-7.8128	-3.6058	-2.4485
No.4	Slope size	0.5378	0.2567	0.3961
Tgt.	Number of sections	-4.6563	-2.2241	-1.3191
No.5	Slope size	0.9900	0.7021	0.4709
Tgt.	Number of sections	1.8578	1.1638	2.0661
No.6	Slope size	0.5868	0.3609	1.0814
Tgt.	Number of sections	-4.7558	-2.4852	-1.6698
No.7	Slope size	1.2393	0.6739	0.4458
Tgt.	Number of sections	-5.0766	-2.5014	-1.8258
No.8	Slope size	1.2336	0.0483	0.5988
Tgt.	Number of sections	-3.7544	-2.4462	-1.6015
No.9	Slope size	0.5177	0.5080	0.3718
Tgt.	Number of sections	-3.0244	-1.5294	-0.9703
No.10	Slope size	2.8730	2.2989	1.7907
Tgt.	Number of sections	-7.4439	-3.3887	-2.0835
No.11	Slope size	1.3556	1.1080	0.9336
Tgt.	Number of sections	-4.8697	-2.4222	-1.5162
No.12	Slope size	0.3231	0.2296	0.1506
Tgt.	Number of sections	-3.0668	-1.7060	-1.0530
No.13	Slope size	2.7010	1.5810	-1.2849
Tgt.	Number of sections	-3.4637	-1.8924	-1.2327
No.14	Slope size	1.3376	0.8536	0.5389
Tgt.	Number of sections	-10.5415	-4.0219	-2.7633
No.15	Slope size	0.7833	0.5669	0.4776

기울기 구간 개수 항목의 결괏값이 음수인 경우 중첩 ISAR 영상 구간의 음의 기울기 개수가 일반

ISAR 영상보다 적음을 의미한다. 기울기 크기 항목은 중첩-일반 ISAR 이미지 모두 음수 값을 가지기 때문에 결괏값이 양수인 경우, 중첩 ISAR 영상의 음의 기울기 크기가 일반 ISAR 영상보다 적다는 것을 의미한다.

산출 결과, 표 3과 같이 6번 표적을 제외하고 중첩 이미지가 일반 이미지보다 음의 기울기 구간의 개수 및 기울기의 크기도 작음을 확인하였다. 따라서 중첩 이미지가 일반 이미지보다 상대적으로 안정적이며, 영상 분석에 유리함을 확인할 수 있었다.

IV. 중첩 ISAR 이미지에서 윤곽선 추출

3장에서 확인한 바와 같이, 중첩 ISAR 영상은 일반 ISAR 영상대비 픽셀값이 안정적으로 분포되어 있어 사람이 인지적으로 다양한 함정이나 선박들을 파악하기에 유리하다.

그러나 컴퓨터를 이용하여 표적의 형태를 인지하기 위해서는 모든 중첩 ISAR 영상에 적용되는 공통적인 윤곽선 추출을 위한 기준이 필요하다. 배경과 표적을 구분할 수 있는 기준 중의 하나는 인접 픽셀값의 변화를 확인하는 것이다. 배경에서 표적 영역으로 전환 시 픽셀값이 극적으로 변화한다는 사실을 바탕으로 윤곽점 픽셀 위치를 파악할 수 있다. 4장에서는 픽셀 기울기 분석을 통한 윤곽선 추출결과를 제시하였다. 3장에서와 마찬가지로 중첩 ISAR 이미지의 각 열에 대해 행 크기 비율별로 상부에서 하부 행으로 진행하면서 변화되는 픽셀값의 기울기 분석을 바탕으로 윤곽점을 추출하였다.

4.1 광학 영상 표적 윤곽선 추출

중첩 ISAR 영상에서 추출한 윤곽선 분석을 위해서는 ISAR로 촬영된 표적에 대한 광학 영상이 필요하며, 표적에 대한 ISAR 촬영 플랫폼의 Grazing angle과 상대 방위도 유사해야 한다. 연구에 사용된 ISAR 및 광학 영상은 단일 플랫폼에서 동시 촬영 및 녹화되었으며 분석의 용이성을 위해 측면에서 촬영된 광학 표적 영상이 존재하는 표적들의 중첩 ISAR 영상에 대해서만 분석을 수행하였다. 표적 측면의 광학 영상에서 윤곽선을 추출한 뒤, 상부의 윤

곽선 픽셀 정보를 산출했다. 상부의 윤곽선 정보만 산출한 이유는 선체 하부의 대부분이 수면 아래 상시 잠겨있는 선박의 특성상 상부 형상이 선종을 판단하는 핵심 기준이기 때문이다.

4.2 중첩 ISAR 영상에서 상부 윤곽점 산출

중첩 ISAR 이미지에서 윤곽점 산출 시에는 식 (4)와 같이 양의 기울기 평균값을 활용하였다.

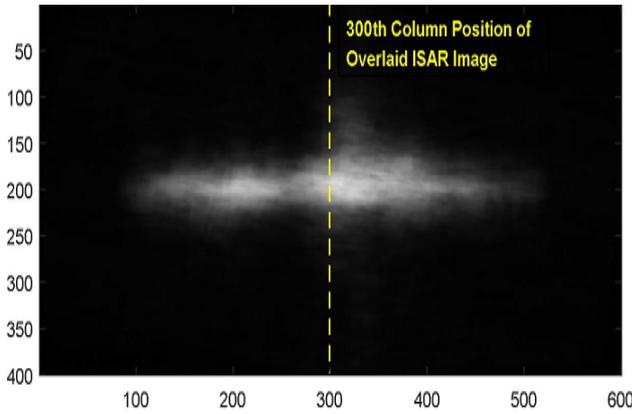
$$P_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^k Sect_i}{k} \quad (4)$$

여기서 P_{ave} 는 양의 기울기 평균값을 의미하며, $Sect_i$ 는 양의 기울기 구간에 대한 기울기 크기를, k 는 양의 기울기를 가지는 구간 개수이다. 양의 기울기

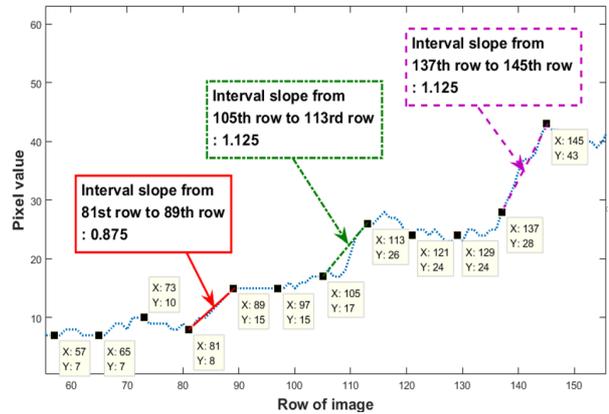
기 평균값은 중첩 이미지 모든 열에 대한 상부에서 하부방향으로의 픽셀값에서 양의 기울기를 가지는 구간들만 취한 뒤 기울기 크기의 총합을 양의 기울기 구간의 총 개수로 나눈 값으로 정의하였다.

윤곽점은 양의 기울기 평균 크기를 상회하는 행 구간들 중 최상부의 구간을 선정한 뒤, 구간 내 픽셀 중 최하부 픽셀을 윤곽점으로 지정하였다. 중첩 ISAR 영상의 경우 행 크기의 1~4%를 기준으로 윤곽점을 산출하였는데, 5%부터는 다수 열에서 양의 기울기 평균치를 충족하는 윤곽점이 산출되지 않아 이미지 단절이 심화했기 때문이다.

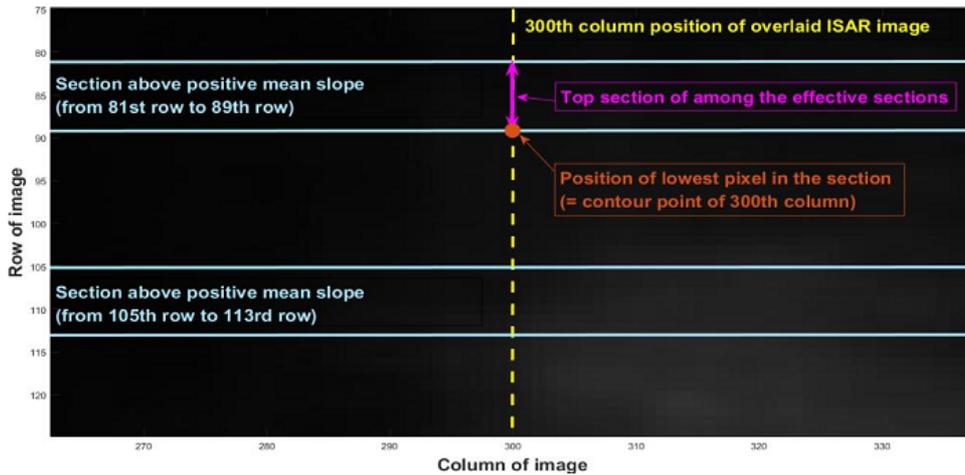
그림 8에서 (a)는 중첩 ISAR 영상이다. 해당 영상의 전체 열에 대한 $8n-7$ (이미지 행 크기는 400픽셀로, 2%의 행 크기 비율이 적용된 1번 그룹) 별 픽셀값의 양의 기울기 구간 평균 크기는 0.8171이다.



(a) Overlaid ISAR image



(b) Pixel value in $8n-7$ rows of 300th column



(c) Contour point extraction process

그림 8. 7번 표적 중첩 ISAR 이미지의 300번째 열에서 윤곽점 추출 예시
Fig. 8. Contour point extraction example for 300th column of target 7 overlaid ISAR image

(b)에서 81~89, 105~113, 137~145행 구간이 300 번째 열에서 평균 기울기를 상회하는 구간임을 확인할 수 있으며, 이후 (c)와 같이, 유효 구간 중 최상부 구간인 81~89행 구간의 최하부 픽셀인 89행을 윤곽점 픽셀로 지정한다. 이 과정을 전체 열에 적용하여 열별 윤곽점을 추출함으로써 중첩 ISAR 영상에 대한 표적 윤곽선을 구성할 수 있다.

4.3 그룹별 중첩 ISAR 영상 윤곽선 추출

4.2의 방법을 사용하면 행 비율별 그룹 수 만큼의 윤곽선 결과가 산출되는데 이 결과들을 평균, 최대, 최소 윤곽선으로 구분하여 그림 9와 같이 최종 재구성했다. 평균 윤곽선은 산출된 행 비율별 윤곽선 픽셀들의 위치에 대한 평균을, 최대 윤곽선은 가장 높은 위치의 픽셀들을, 최소 윤곽선은 가장 낮은 위치의 픽셀들로 구성된다.

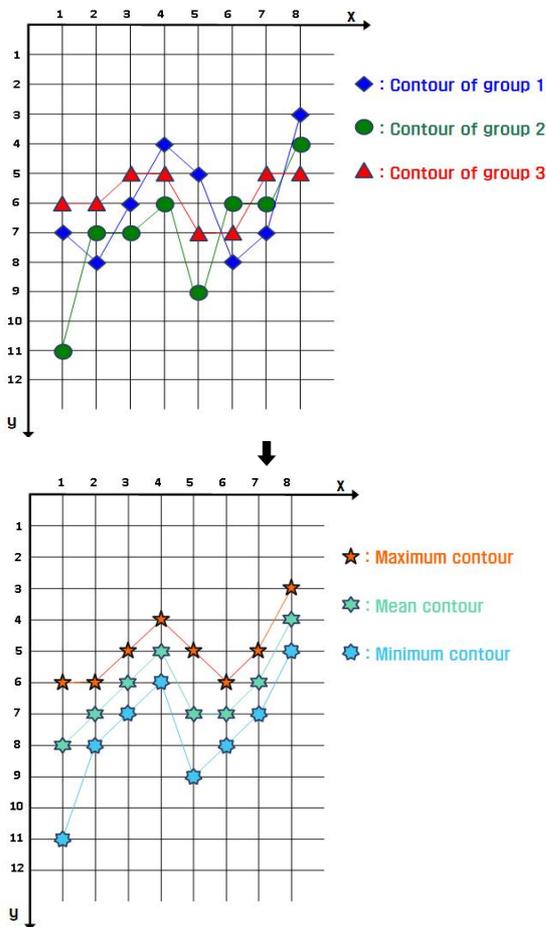
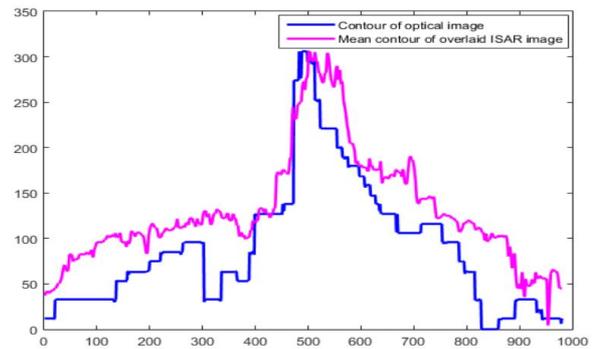


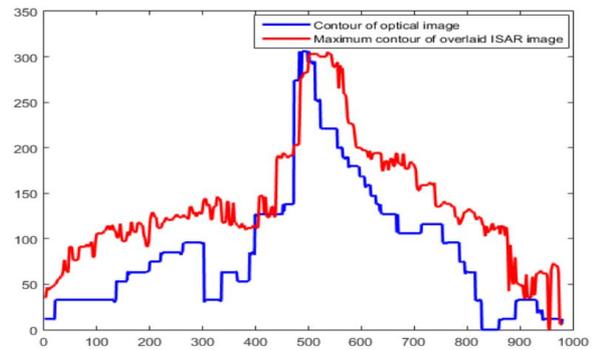
그림 9. 평균/최대/최소 윤곽선 설정 예시
 Fig. 9. Example of configuring the mean/maximum/minimum contour

4.4 ISAR-광학 영상간 윤곽선 비교 분석

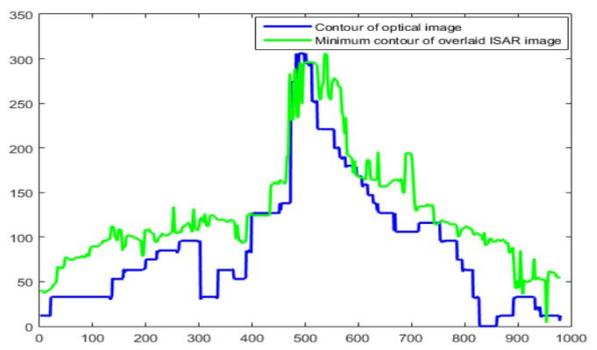
분석을 위해 행 비율별, 윤곽선 그룹별로 추출된 중첩 ISAR 영상 윤곽선을 동일표적의 광학 영상에서 추출한 윤곽선의 길이(x축)와 높이(y축)에 맞춰 크기를 재조정한다. 그림 10은 7번 표적의 중첩 ISAR 영상에서 추출한 평균/최소/최대 윤곽선을 광학 영상 윤곽선의 길이, 높이 축에 맞춰 재조정된 결과다.



(a) Comparison of optical and mean contours



(b) Comparison of optical and maximum contours



(c) Comparison of optical and minimum contours

그림 10. ISAR 윤곽선을 광학 윤곽선의 길이/높이 축으로 재조정된 결과(7번 표적, 1% 행 비율 적용)

Fig. 10. Result of re-adjusting the ISAR image contour to the length and height axis of the optical image contour(Target 7, 1% row ratio application)

이를 통해 ISAR-광학 윤곽선 간 수치적인 비교가 가능하다. 광학 영상 윤곽선과 ISAR 영상 윤곽선 간 길이 측에 대한 높이 값의 차이를 적분한 수치를 산출한 뒤, 표 4와 같이 표적별 최소 적분 차이 값을 가진 항목을 1로 기준으로 하여 모든 항목의 값들을 상대적 비율로 변환하였다.

표 4. ISAR-광학 윤곽선 차이에 대한 상대비율 변환
Table 4. Conversion of relative proportions for difference between ISAR and optical contour

Tgt. number	Contour	1%	2%	3%	4%
1	Mean	1	1.2625	1.2447	1.2178
	Min	1.1031	1.0740	1.1244	1.1501
	Max	1.0902	1.2105	1.2683	1.3834
4	Mean	1.0436	1.0002	1.0379	1.0729
	Min	1.0539	1	1.0052	1.0495
	Max	1.0464	1.0090	1.1232	1.1090
5	Mean	1.7193	1.4605	1.2030	1.1221
	Min	1.3146	1.8017	1.8351	2.0516
	Max	1.6938	1.1842	1	1.2476
6	Mean	1.1291	1	1.0498	1.0832
	Min	1.2424	1.1611	1.0181	1.0597
	Max	1.0246	1.1815	1.1384	1.1823
7	Mean	1.2080	1.0455	1.3026	1.6229
	Min	1.0953	1	1.0889	1.7606
	Max	1.5979	1.4587	1.5706	1.4754
12	Mean	1.1095	1.0920	1.0678	1
	Min	1.0775	1.2107	1.1977	1.1328
	Max	1.1776	1.2566	1.0781	1.0727
13	Mean	1.1266	1.0467	1	1.1829
	Min	1.1853	1.2171	1.2427	1.7388
	Max	1.0975	1.1630	1.1327	1.8326
14	Mean	1.2223	1.1608	1.0379	1.0213
	Min	1.3302	1.1623	1	1.0025
	Max	1.2858	1.0683	1.1289	1.0496
15	Mean	1.2386	1.1722	1.1843	1.0213
	Min	1.2738	1.3883	1	1.0024
	Max	1.2543	1.1255	1.1288	1.0496

표 4에 대한 열 비율, 윤곽선 그룹에 대한 전체 평균을 표 5와 같이 산출하였다.

15개 표적 전체가 아닌 일부 표적에 대해서만 결과를 산출한 이유는 4.1에서 언급한 바와 같이 분석의 용이성을 위해 측면에서 촬영된 광학 표적 영상

이 존재하는 표적들의 중첩 ISAR 영상에 대해서만 분석을 수행하였기 때문이다.

표 5. 윤곽선 및 행 크기 비율별 전체 평균값
Table 5. Total mean value by contour and row size ratio

Contour \ Row size ratio	1%	2%	3%	4%	Mean value of contour
Mean contour	1.1997	1.1378	1.1253	1.1494	1.1530
Min' contour	1.1862	1.2239	1.1680	1.3276	1.2264
Max' contour	1.2520	1.1841	1.1743	1.2669	1.2193
Mean value of row ratio	1.2126	1.1819	1.1558	1.2479	

행 비율 분야에서는 3%가, 윤곽선 분야에서는 평균 윤곽선이 광학 영상에서 추출된 표적 윤곽선과의 유사성이 상대적으로 높음을 확인할 수 있었다. 최종 종합 결과, 3%의 행 비율을 적용하여 평균 윤곽선을 추출한 결과가 가장 우수하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 중첩된 ISAR 이미지의 픽셀값 기울기 분석을 통한 표적 윤곽선 추출방안을 연구하였다. 중첩-일반 ISAR 영상 간 각 열의 행 픽셀값에 대한 음의 기울기 관련 데이터 산출 및 비교를 통해 중첩 ISAR 영상이 일반 영상보다 표적 영상 분석 및 식별에 유리함을 확인하였으며, 각 열의 행 픽셀값에 대한 양의 기울기 값을 바탕으로 중첩 ISAR 영상에서의 표적 윤곽선 추출방안을 제안하였다. 이를 통해 ISAR 분석 영역에서의 객관성과 정확성이 증대될 수 있으며, 이를 바탕으로 향상된 해상 원거리 표적 식별능력을 통해 신속하고 정확한 전장 상황인식 능력을 해상전력에 제공할 수 있을 것이다.

또한, 컴퓨터가 ISAR 영상에서 표적 형상을 인식하기 위한 윤곽선 추출방법을 제시함으로써 추후 컴퓨터와 인공지능 활용을 통한 영상 분석의 기반을 마련하였다. 여기에 다양한 함정이나 선박들에 대한 충분한 Aspect 별 ISAR 영상정보와 표적 크기 정보 등이 추가된다면 머신러닝을 적용한 신뢰성 있는 자동 ISAR 분석도 가능할 것이다.

References

- [1] M. S. Kang, S. H. Lee, S. H. Park, S. Y. Shin, E. J. Yang, and K. T. Kim, "Inter-Pulse motion compensation of an ISAR image generated by stepped chirp waveform using improved particle swarm optimization", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 26, No. 2, pp. 218-225, Feb. 2015.
- [2] A. W. Doerry, "Ship dynamics for maritime ISAR imaging", Sandia Report SAND2008-1020, 2008.
- [3] National Geography Information Institute(NGII), "The national atlas of Korea II", Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2019.
- [4] A. Maki and K. Fukui, "Ship identification in sequential ISAR imagery", Machine Vision and Applications, pp. 149-155, 2004.
- [5] D. Pastina and C. Spina, "Multi-feature based automatic recognition of ship targets in ISAR", IET Radar Sonar Navig, Vol 3, No. 4, pp. 406-423, Aug. 2009.
- [6] C. Benedek, "Moving target analysis in ISAR image sequences with a multiframe marked point process model", Geoscience and Remote Sensing, Vol. 52, No. 4, pp. 2234-2246, Jun. 2014.
- [7] W. K. Park, S. H. Lee, and B. W. Jeon, "A simplified pre-processing method for efficient video noise reduction", Journal of Broadcast Engineering, Vol. 6, No. 2, pp. 139-147, Sep. 2001.
- [8] T. Kronander, "Post- and pre-processing in coding of image sequences using filters with motion compensated history", International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, NY, USA, pp. 1104-1107, Apr. 1988.

저자소개

곽재웅 (Jaewoong Kwag)



2010년 3월 : 해군사관학교
 군사전략학과(문학사)
 2019년 1월 ~ 현재 : 국방대학교
 국방과학학과 무기체계전공
 석사과정
 관심분야 : 표적탐지 및 추적,
 신호처리 등

하용훈 (Yonghoon Ha)



1994년 3월: 해군사관학교
 해양학과 (이학사)
 1997년 2월: 서울대학교 해양학과
 (이학사)
 2000년 12월: 미국 Naval
 Postgraduate School 공학음향학
 (공학석사)
 2009년 2월 : 서울대학교 조선해양공학 (공학박사)
 2019년 3월 ~ 현재 : 국방대학교 국방과학학과
 무기체계전공 교수
 관심분야 : 표적탐지 및 추적, 수중음향 및 대잠전 M&S,
 신호처리 등