

연구논문

SAR 영상을 이용한 선박탐지에 관한 연구 Study on the Ship Detection Method Using SAR Imagery

권승준* · 신성웅**

Kwon, Seung Joon · Shin, Sung Woong

要 旨

기존의 육상레이더망을 이용한 선박모니터링 시스템(vessel monitoring system)의 경우는 선박을 탐지할 수 있는 범위가 제한적이기 때문에 지속적인 관리와 감시에 어려움이 있다. 본 논문에서는 이런 문제점을 극복하고, 광역의 지역에 대한 효율적인 영상정보의 수집과 기상조건에 상관없는 자료의 취득이 가능한 SAR 위성영상을 활용하여 해양모니터링을 위한 선박감시시스템의 핵심 부분이 될 수 있는 선박탐지에 관한 연구를 수행하고자 한다. 선박 탐지에 관한 연구는 크게 선박 대상체 자체를 탐지하는 알고리즘과 항행선박에 의해 발생하는 선형 항적(航跡)을 탐지하는 알고리즘으로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 선박 대상체 자체를 탐지하는 방법을 제안하고, 선박대상체의 위치와 항로를 파악하여 그 정확도를 일부 현장자료를 통해 검증하고자 한다. 1차 다항식 변환을 통해 입력영상을 기하보정하고 잡음제거를 위해 Wiener 필터를 사용한다. Otsu(1979)가 제안한 분산최대 2분할법을 통해 입력영상을 이진화시키고 레이블링 기법을 사용하여 영상화소들의 그룹을 재구성한다. 형태학적 필터링과 화소간 거리 클러스터링을 이용하여 선박후보대상체들을 빠르게 추출하고 중심좌표와 침로를 계산한다.

핵심용어 : SAR 위성영상, 선박탐지, 해양모니터링, Wiener 필터

Abstract

The existing vessel monitoring system using the ground surveillance radar has a difficulty in monitoring ships continuously due to the limited range of detecting ships. For resolving this problem, we carry out a research on ship detection which is to be the core technology of vessel monitoring system for ocean monitoring using SAR imagery. There are two different methods of detecting ships in SAR imagery: detection of the ship target itself and detection of the ship wake. In this paper, we mainly focus on algorithms which detect the ship itself, and also present the accuracy test after extracting positional and directional figures of the ships. After rectifying input SAR imagery using polynomial transformation, we use Wiener filter to remove speckle noises. A labeling technique and morphological filtering in conjunction with Otsu's method are used to automatically detect the ships based on the image processing domain. For ground truth data, information from a radar system is used, which allows assessing the accuracy of the proposed method. The results show that the proposed method has the high potential in automatically detecting the ships and its positional/directional figures in a fast way.

Keywords : SAR, Ship detection, Ocean monitoring, Wiener filter

1. 서 론

UN 해양법 협약 발효에 따라 해양 분할 관리시대로 도래하면서 모든 해양 국가는 해양 자원의 적극적 활용과 보호를 위해 총괄적인 정보관리시스템의 개발 및 활용에 나서고 있다. 하지만 해상에서의 자원보호 활동 범위는 육상과는 달리 그 대상 면적이 매우 넓으며 바다라는 특

성상 육상과 같은 교통관리체계를 구축하는 것이 까다로우며, 또한 수시로 급변하는 기상변화에 항행(航行)선박이 항상 노출되는 특성이 있다. 불법어업과 허가 조업해역이 아닌 곳에서 수산 활동을 하는 트롤어선(trawl boat) 등에 대한 규제를 위해 전지구위치파악시스템(GPS)을 어선에 장착하여 사용토록 하고 있으나, 여러 이권문제로 GPS 장치를 자신들의 배에 장착하려 하지 않고 있어

2009년 2월 24일 접수, 2009년 3월 20일 채택

* 정회원·한국전자통신연구원(ETRI) 친환경차량IT연구팀 연구원 (kwonsj@etri.re.kr)

** 교신저자·한국전자통신연구원(ETRI) 친환경차량IT연구팀 팀장 (sshin@etri.re.kr)

해양자원보호에 큰문제가 되고 있다. 이러한 상황 속에서 효율적인 해양보호관리 방법의 하나로 몇몇 국가에서는 위성영상을 활용한 선박모니터링시스템이 도입되어 사용되고 있다. 본 연구에서는 광역의 지역에 대한 효율적인 영상정보의 수집과 기상조건에 상관없는 자료의 취득이 가능한 SAR 위성영상을 이용하여 선박모니터링시스템의 중요 부분인 자동화된 선박탐지 알고리즘을 제안하고자 한다.

선박 탐지에 관한 연구는 크게 선박 대상체 자체를 탐지하는 알고리즘과 항행선박에 의해 발생하는 선형 항적(航跡)을 탐지하는 알고리즘으로 나눌 수 있는데, 현재 대부분의 선박탐지에 관한 연구는 선박의 선형 항적을 탐지하는 방법보다는 선박 대상체 자체를 탐지하는 방법에 비중을 두고 이루어지고 있다. 그 이유는 선박외형의 후방산란이 상당히 강하고, 해양상태에 대해서 독립적이기 때문이며, 정지 상태인 선박들과 느리게 이동중인 선박들은 항적을 가지고 있지 않기 때문이다. 또한 선박의 항적을 탐지하는 알고리즘은 상대적으로 더 복잡한 계산과정과 많은 처리시간을 요구하며, 큰 레이더 입사각을 가지는 센서 플랫폼에서 취득된 영상에서는 선박의 항적이 잘 보이지 않는 특징이 있다.

선박 대상체를 탐지하는 연구들을 살펴보면 다음과 같다.

Sciotti(2002)는 편광 SAR 영상을 가지고서 선박후방산란모델을 활용한 GLRT(generalized likelihood ratio) 탐지 방법을 사용하였고, Lin(1997)은 설정한 전역임계값보다 높은 반사강도값을 가지는 화소들을 탐지 대상으로 설정하여 ERS SAR PRI 영상에서 선박탐지를 수행하였다. Jiang(1998)은 선박의 경우 모서리나 구석 부분의 반사로 인하여 SAR 영상에서 밝은 대상으로 확인될 수 있다는 가정하에 연구를 시작하였으며, 선박탐지의 오경보(誤警報)를 줄이기 위해 K-분포를 적용하였다.

Wackerman(2001)은 Radarsat-1 C밴드 SAR 영상에서 선박탐지용으로 다중화소(multiple pixel) target window를 활용한 two-parameter CFAR detector를 사용하였고, 해양의 clutter 처리를 위해 감마 분포와 K-분포 모델을 적용하였다. Eldhuset(1996)이 사용한 선박탐지는 연안지역의 영상에서 선박후보화소가 주위 화소보다 상대적으로 강한 화소 밝기 특성을 보인다는 가정하에 적응필터(adaptive filter)를 사용하였고 선박후보 주위의 항적도 추출하여 탐지확률을 높이는데 주력하였다. ERS-1 SAR 영상과 Seasat 영상에 알고리즘을 적용하였으며 성능평가는 선박에 대한 다른 정보 없이 동일한 Seasat과 ERS-1 영상자료에 대한 사람의 시각적 해석을 통해 이루어졌다. Seasat-A와 ERS-1에서 알고리즘 적용결과 7%에서 8% 정도의 선박후보 대상체들이 오경보로 인해 탐지되지 못

했다. 해외의 SAR 영상을 이용한 선박탐지에 관한 공통된 연구내용을 살펴보면, 먼저 영상의 종류에 따라 각기 다른 탐지 알고리즘이 필요하다는 사실과 영상 해상도는 영상처리과정에 있어 아주 중대한 요소라는 사실이다. 또한 해외 선박탐지 연구사례에서 공통적으로 제시된 어려움은 제안된 탐지 알고리즘에 대한 정확한 검증과정의 부족에 있다. 이는 다양한 탐지 알고리즘의 비교 평가를 어렵게 만들 수 있다.

2. 연구이론 및 방법

본 연구에서는 single channel Radarsat-1 SAR 영상에 자동화된 선박탐지 알고리즘을 적용하여 선박대상체의 위치와 항로를 파악하고자 한다. 본 연구에서 제안한 방법의 흐름도는 그림 1과 같다.

일반적인 선박탐지 과정 중 전처리 과정에 해당하는 전처리 단계로 1차다항식변환을 통해 입력영상을 기하보정하고 잡음제거를 위해 Wiener 필터를 사용하였다. Otsu(1979)가 제안한 분산최대 2분할법을 통해 입력영상을 이진화시키고 레이블링 기법을 사용하여 영상화소들의 그룹을 재구성한 뒤에, 형태학적 필터링과 화소간 거리 클러스터링을 이용하여 선박후보대상체들을 추출하

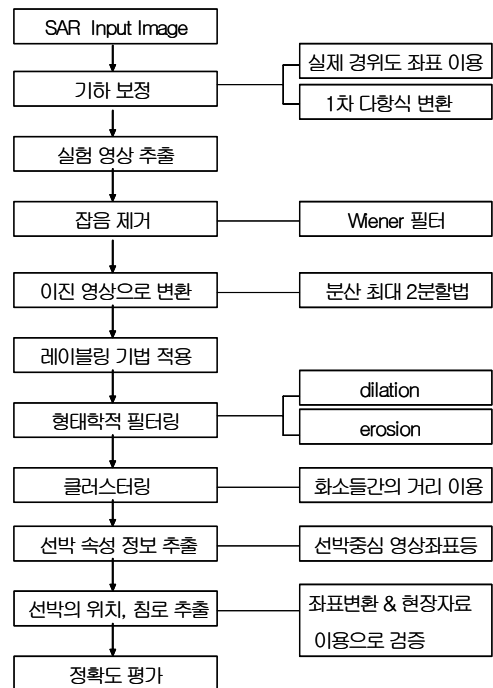


그림 1. 본 연구에서 제안된 방법의 흐름도

고 중심좌표와 침로를 계산한다. 울산항 현장 실측 자료를 바탕으로 본 연구에서 제안된 선박탐지방법에 의해 탐지된 선박의 정확도를 검증하고, 추가되어야 할 연구 사항을 설명한다.

2.1 위너필터(Wiener filter)

위너필터는 선형영상 복원에서 additive noise 제거에 탁월한 것으로 알려져 있다. 영상 전처리 과정에서 자료 처리과정 속도를 향상시키고 레이더 영상 특유의 speckle 과 additive noise를 제거하기 위해 위너 필터를 사용하였다. 통계적인 방법을 이용하여 복원된 영상에서 에러를 모델화함으로써 잡음이 커지면 영상의 화질이 떨어지는 반전필터의 문제점을 감소시키는 장점이 있다.

2.2 Otsu's 분산 최대 2분할법

SAR 위성체로부터 전달되는 에너지파가 객체의 접촉면에 반사되어 다시 위성체의 안테나에 정보가 취득될 때 접촉되는 면이 해수와 선박 후보들이라고 가정하면 다른 에너지파장의 영향으로 취득된 반사강도값들이 다르게 나타날 것이다. 해수의 분광 반사특성과 선박의 재질인 금속성 물체의 반사특성의 차이로 위성체의 안테나에 취득되는 화소 강도(pixel intensity)의 통계 분포정보는 구별되는 특징을 보일 것이다. 해수와 비해수객체간의 화소값 분포가 뚜렷하게 구별될 수 있기 때문에, Otsu's 방법을 통해 추출된 임계값을 기준으로 입력 영상을 이진 영상으로 변환한다.

2.3 레이블링 기법

이진화된 영상에서 개별 화소의 연결도를 8 방향으로 조사하여 연결 성분들을 레이블링하였다. 즉 같은 영역에 속하는 화소들은 같은 레이블을 지니도록 하여 영상의 분할을 시도하였다.

0으로 표시된 화소들은 otsu 방법에 의해 영상 통계정보를 바탕으로 자동 설정된 임계치값을 기준으로 한 것으로 해상영역에 해당된다. 1로 레이블된 화소들은 하나의 객체를 구성하고 2로 레이블된 화소들은 두 번째 다른 객체를 구성하게 된다. 즉 하나의 화소를 기준으로 8 방

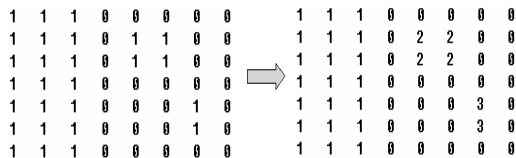


그림 2. 화소 레이블링

향으로 인접화소의 연결도(connectivity)를 조사하여 화소 그룹들을 차례대로 레이블링 한다.

2.4 형태학적 필터링

형태학적 필터링(Morphological filtering) 기법은 여러 다양한 연구 분야에서 변형되어 사용되고 있는 기법으로 보통은 이진화 영상에서 많이 사용되며 영상 전처리 작업이나 초기 객체분류 그리고 이러한 처리 뒤에 이어서 객체의 내재된 구조(structure)를 명확히 하는데 사용된다. 여기서는 전 단계에서 처리된 영상을 가지고 잘못 제거되었거나 하나의 레이블로 잘못 인식된 화소를 처리하기 위해, Morphology 기법인 팽창 연산과 침식 연산을 조합하여 영상을 처리한다.

3. 적용 및 결과

실험에 사용한 SAR 위성 자료는 Radarsat-1 영상이고, 자료 취득일은 2004년 6월 18일이다. 대상지역은 한반도의 울산항 앞바다이며, 실험 지역 전체 Radarsat-1 영상의 수치는 17701×24069 byte이고 BSQ형태로 저장된 상태이다. 실험 전체 영상 자료는 각각 2바이트의 실수부(I)와 허수부(Q)로 구성되어 한 화소당 4바이트를 차지하지만 영상으로 구현된 반사파를 나타내는 밝기값은 2바이트로 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$DN = \sqrt{I^2 + Q^2} \tag{1}$$

이 식에 의해 재구성한 전체 SAR 영상은 아래 그림 3과 같다.

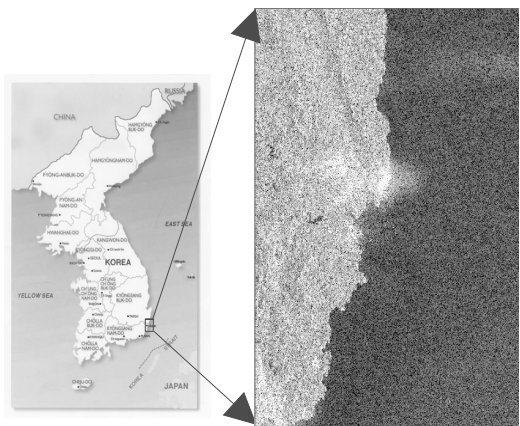


그림 3. 실험 적용 대상인 울산항 Radarsat 영상

표 1. 사용한 Radarsat 정보

SAR channel indicator	1
Scene Identifier	RSAT-1-SAR-SGX
Latitude at Image center	35.5547554
Longitude at Image center	129.4373574
Processed scene range (km)	55.3625000
Processed scene azimuth(km)	64.2062500
Sensor ID	RSAT-1-C - -HH
Incidence Angle	41.222
Product type	SAR GEOREF EXTRA FINE
Sensor Platform Heading(deg)	193.648
Line spacing (m)	3.1250000
Pixel spacing (m)	3.1250000
MET at Image center	DESCENDING

3.1 영상 기하 보정

SAR의 기계적 시스템 특징으로 지표의 형태에 따라 취득된 영상의 기하학적 왜곡이나 방사변화가 생기게 된다. 이는 입력영상에서 선박의 중심 위치를 지리적 좌표로 변환시키는 과정에 어려움을 더하게 된다.

기하 보정(rectification)은 기하 변형과정을 이용하여 어떤 하나의 그리드 시스템에서 다른 그리드 시스템으로 자료를 변형시키는 과정을 말한다. 새로운 그리드의 화소들은 원 그리드의 화소들과 중심이 맞지 않기 때문에, 화소들은 재배열(resample)되어야 한다. 재배열은 원 화소들의 자료 값으로부터 새로운 그리드상의 화소들에 대한 자료 값을 외삽(外插)하는 과정이다.

지도좌표화(geocoded)된 영상자료를 이용하면 편한 기하보정과정을 수행할 수 있으나 실험에 적용할 영상은 기하 보정되지 못한 것이기 때문에 지도좌표를 영상좌표에 할당하는 과정이 필요하다.

그림 4에서 변환 기준점은 일종의 지상기준점으로서 출력된 입력 영상의 기하보정 과정을 위해 실험에서 사용되었다.

실험데이터의 지상좌표참조(georeferencing) 과정을 살펴보면 다음과 같다. 아래 그림에서 전체 영상의 크기가 17701×24069 byte 이고, 각각의 좌우 모서리의 영상좌표와 중앙지점의 영상좌표를 나타내고 있다.

이 6개의 기준점을 설정하여 전체 처리 과정을 거쳐 취득된 24069개의 라인별 시작, 중간, 끝 지점의 위경도 자료(그림 6)를 바탕으로 지상좌표참조를 수행한다. 다음으로

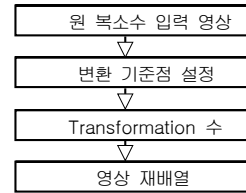


그림 4. 영상기하보정과정

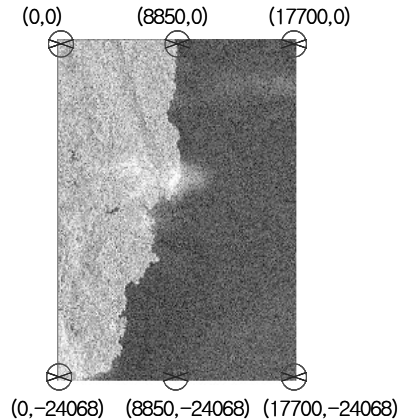


그림 5. 실험 영상의 기하 보정 기준점

line	First lat. / lon.	mid lat. / lon.	last lat. / lon.
1	35.823589 129.199823	35.788906 129.500477	35.737478 129.881685
2	35.823561 129.199817	35.788878 129.500471	35.737442 129.881599
3	35.823533 129.199811	35.788851 129.500464	35.737414 129.881593
4	35.823506 129.199805	35.788823 129.500458	35.737387 129.881587
5	35.823478 129.199800	35.788795 129.500452	35.737359 129.881581
6	35.823450 129.199794	35.788767 129.500446	35.737331 129.881575
7	35.823422 129.199788	35.788740 129.500440	35.737303 129.881568
8	35.823395 129.199782	35.788712 129.500434	35.737276 129.881562
9	35.823367 129.199776	35.788684 129.500428	35.737248 129.881556
10	35.823339 129.199770	35.788656 129.500422	35.737220 129.881550
11	35.823312 129.199764	35.788629 129.500416	35.737192 129.881544
12	35.823284 129.199758	35.788601 129.500410	35.737165 129.881538
13	35.823256 129.199752	35.788573 129.500404	35.737137 129.881532
14	35.823228 129.199746	35.788545 129.500398	35.737109 129.881525
15	35.823201 129.199740	35.788518 129.500392	35.737081 129.881519
16	35.823173 129.199734	35.788490 129.500386	35.737054 129.881513
17	35.823145 129.199728	35.788462 129.500380	35.737026 129.881507
18	35.823117 129.199722	35.788435 129.500374	35.736998 129.881501
19	35.823090 129.199717	35.788407 129.500368	35.736971 129.881495
20	35.823062 129.199711	35.788379 129.500362	35.736943 129.881489
21	35.823034 129.199705	35.788351 129.500356	35.736915 129.881482
22	35.823006 129.199700	35.788324 129.500350	35.736887 129.881476
23	35.822979 129.199694	35.788296 129.500344	35.736860 129.881470
24	35.822951 129.199688	35.788268 129.500338	35.736832 129.881464
25	35.822923 129.199681	35.788240 129.500332	35.736804 129.881458

그림 6. 24069개의 라인별 시작, 중간, 끝 지점의 위경도 자료

원 영상좌표를 보정된 지도좌표로 변환하는데 이용하는 다항식 변환을 수행한다. 변환에 영향을 주는 인자는 영상의 왜곡정도, 사용된 지상기준점의 수, 지상기준점 각각의 상대적 위치 등이 있다. 다항식의 복잡도는 식의 차수로서 표현되며, 변환 차수는 변환과정에서 쓰인 다항식의 차수이다. 보통의 경우에는 대개 1차와 2차 변환식이 많이 쓰이고 있다. 본 논문에서는 차수가 증가할수록 RMS E가 커지기 때문에 1차 변환식을 선택하여 적용한다.

1차 변환을 위한 변환 행렬은 각각 x와 y좌표 3개씩,

총 6개의 계수로 이루어진다. 계수들은 1차 다항식에서 다음과 같이 사용된다

$$\begin{aligned} x_0 &= a_0 + a_1x + a_2y \\ y_0 &= b_0 + b_1x + b_2y \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 x, y 는 원 좌표(입력), x_0, y_0 는 조정된 좌표(출력)이다. 계산된 RMSE는 표 2와 같다.

원 영상을 구성하는 화소들의 그리드는 레퍼런스 영상을 위한 그리드에 거의 맞지 않기 때문에, 출력을 위해 새로운 자료 파일 값들이 계산될 수 있도록 재배열되어야 한다.

본 연구에서는 재배열방법으로 최근린보간법(Nearest Neighbor)을 이용하였으며, 기하 보정과정을 통하여 생성된 영상은 그림 7과 같다.

기하 보정된 영상에서 각 모서리의 변환된 경위도 좌표 값은 아래와 같다.

Upper Left X	129.05544252	Lower Right X	129.80038932
Upper Left Y	35.82378289	Lower Right Y	35.06984611

표 2. 변환 과정에 대한 RMSE

Set Point#	Xinput	Yinput	Xref	Yref	RMS error
1	0	0	129.199	35.824	1.260
2	8850	0	129.500	35.781	0.301
3	17700	0	129.802	35.737	1.141
4	0	-24068	129.057	35.156	1.153
5	8850	-24068	129.356	35.113	0.295
6	17700	-24068	129.654	35.070	1.267

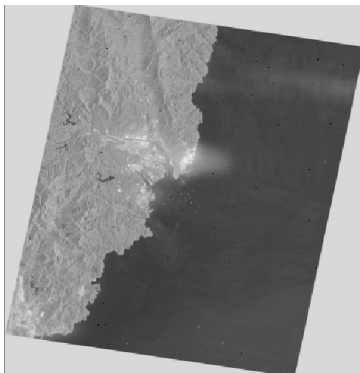


그림 7. 기하 보정된 영상

3.2 군집화

1548×1378(그림 8) 화소크기로 실험 적용을 위한 영상을 생성한다. 영상의 잡음제거에 널리 사용되어 온 평균 필터와 중앙값필터, 시그마필터 등이 있으나 영상의 균질감(smoothing) 효과, 경계선 유지효과 그리고 additive noise를 고려하여 Wiener 필터를 적용하여 영상을 처리하였다. window 크기를 7×7로 한 것은 영상처리의 결과를 기준으로 경험적인 판단에 의한 것이다.

두 개의 정점을 가지는 영상화소값의 통계정보를 이용하여 적용영상에 맞는 최적의 임계값을 자동으로 추출하

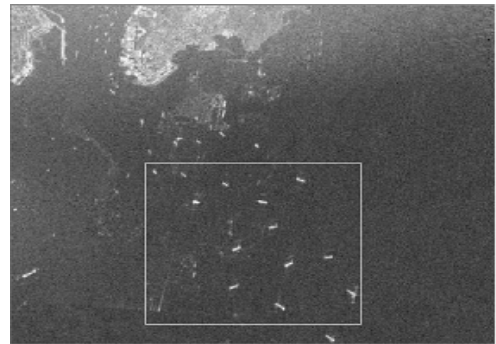


그림 8. 실험영상

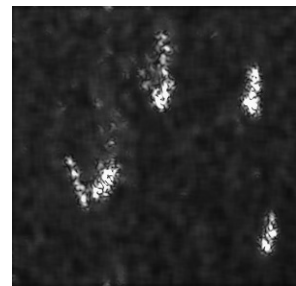


그림 9. 7×7 Wiener filter로 처리된 실험영상

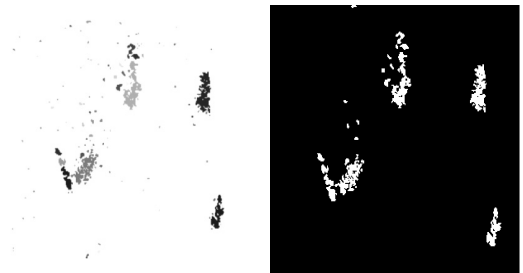


그림 10. (좌)반사강도를 이용해 RGB칼라로 표시된 레이블된 그룹. (우) 8방향의 연결도를 조사하여 불필요한 화소 레이블 그룹들을 제거함

여 입력영상을 이진 영상으로 변환한다. 해수 clutter와 공진효과 등으로 인한 이상 화소들을 제거하기 위해 비선박 배경화소들과 나머지 모든 화소에 대해 레이블링 기법을 적용한다. label grouping 과정을 거친 이후에 실험영상 1에 대해서 총 126개의 label group이 생성되고 해당 group의 화소개수는 표 3과 같다.

실험 영상인 Radarsat-1 영상의 경우 line 간격과 화소 간 간격이 3.125m 이고 해상도가 10m~100m 인 점, 그리고 이진영상의 필터링 과정에서 생길 수 있는 오차요인, 공진현상 그리고 radar 영상 특유의 speckle noise 효과를 감안하여 10개의 화소 개수 크기로 임계값을 주어 실험 영상에서 선박 후보들을 일차적으로 추출하는 방법이 이루어졌다.

```
{Image Display=Find[(Label Group ID)>10Pixel Size]}
```

노이즈 제거의 목적으로 팽창 및 침식 연산을 실험영상에 적용한 후, 레이블 된 그룹들에 대해서 중심(centroid) 값을 기준으로 각각의 화소에 대해 클러스터링을 수행한다. 연안이나 심해에 있는 일정 규모의 선박들은 선박 간의 안전거리를 준수하기 때문에 영상의 화소간 거리를 고려하여 거리 클러스터링을 적용하였다. 다섯 개의 선박후보대상체가 그림 11처럼 최종적으로 산출되었음을 볼 수 있다.

표 3. 레이블 그룹들의 화소수

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pixel #	1	4	1	1	1	3	3	2	2	4	2	1	4	4	2	7	44	1	2	54
ID	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Pixel #	160	1	1	1	1	5	457	4	3	1	2	2	2	11	25	1	1	11	1	1
ID	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Pixel #	2	5	14	2	9	6	4	2	1	6	13	4	1	12	12	1	3	3	6	3
ID	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Pixel #	2	6	3	8	8	3	3	6	1	1	2	4	3	2	2	18	38	2	4	13
ID	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Pixel #	15	1	493	2	8	74	2	7	2	40	2	1	1	3	1	1	1	7	3	3
ID	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
Pixel #	1	3	1	2	5	4	1	1	2	4	4	2	503	2	5	4	1	2	1	274
ID	121	122	123	124	125	126														
Pixel #	2	3	7	1	1	1														

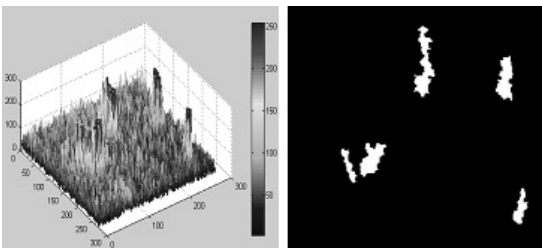


그림 11. 클러스터링 후 추출된 선박대상체 후보

3.3 선박정보추출

원격탐사에서 대상체에 관한 위치정보는 위성으로부터 취득한 영상자료를 기본도의 지상기준점을 사용하여 기하보정을 실시하고, 영상자료로부터 추출하는 것이 보통의 방법이다. 하지만 육지 혹은 섬이 없는 영역에서는 지상기준점을 이용할 수 없기 때문에 위치정보의 정확한 보정이 힘들다. 연구에서 적용한 방법은 실험영상으로부터 얻은 선박 후보 개개의 중심좌표를 변환 과정을 통해 실 좌표의 위치와 비교하여 검증하는 것이다.

전 단계까지 추출된 실험영상에서 나타난 선박 후보들 개개의 속성 정보는 다음의 표 4와 같다.

선박의 침로를 파악하기 위해서는 직접반사, 코너 반사. 그리고 선박과 해수면으로부터의 다중 반사등을 고려한 산란메커니즘을 통해, 고유한 레이더 산란값의 특성을 분석하여 선박의 침로를 파악해야 한다. 선박선체 구성 물질, 선박상부구조, 입사각, 관측각(aspect angle), 레이더 주파수 등이 선박과 관련한 산란메커니즘을 결정짓는 인자들이다. Askari와 Zerr(2000), Kourti(2001)에 따르면, azimuth 방향으로 이동하는 선박들이 상대적으로 더 큰 레이더유효반사단면적(RCS) 값을 가진다고 하였다.

실험 영상에서 진북 방향이 파악되면 추출된 선박 후보들에서 중심 화소값을 기준으로 선박 후보들의 진행 방향을 결정한다. 침로 안정성을 위해 스케그를 부착한 일정규모의 선박은 선박선미 뒷부분의 선체 면적이 증가(해양연구원)하는 효과를 나타낸다. 결국 선체 선미에서 레이더 펄스의 유효반사단면적이 상대적으로 크게 나타날 것이다. 이 개념에 따라 추출된 선박후보 대상체에서 중심 화소는 그림 13과 같이 나타나고 선박의 진행방향은 추출된 선박 반사 면적을 고려했을때 오른쪽이 될 것이다.



그림 12. 선박 후보: 면적 중심값의 위치 표시

표 4. 선박 후보 개체들의 속성 정보

ID	면적	장축	단축	이심률	면적중심값(x,y)
1	867	57.37	34.24	0.80	89.90 169.57
2	536	57.35	18.62	0.95	157.37 77.99
3	138	21.14	13.39	0.77	157.08 36.19
4	577	49.69	16.99	0.94	249.84 83.02
5	307	39.34	12.03	0.95	267.03 220.16

적용된 실험영상에서 선박의 형상은 그림 14처럼 크게 8가지로 나타날 것으로 예상할 수 있다. 추출된 선박후보의 형상에서 중심 위치가 나왔다면 그 중심 위치를 기준으로 영상의 x 축과 선박후보의 장축이 이루는 각을 구한다. 이 각을 모든 선박후보에서 구한 후 영상내의 진북방향과의 관계를 추출하여 현장에서 확인된 방향과 비교한다. 울산항 현장에서 확인한 선박 종류는 크게 다음의 6가지 모습이었다. 컨테이너선과 같은 화물선이 대부분이었다.

현장의 자료를 바탕으로 실험영상에서 HACE 선박의 실제모습과 실험적용으로 추출된 반사단면적은 그림 16과 같다.

정확한 탐지 결과가 나온다면 추출된 침로와 선박 선수와 선미간의 거리 비, 그리고 면적비를 바탕으로 선박의

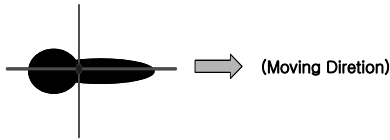


그림 13. 레이더 유효반사 단면적을 통한 선박 침로 예상



그림 14. 선박의 선미, 선수를 고려한 침로 예상



그림 15. 선박의 종류 예(좌측 하단: 산적화물선, 우측하단: LNG 운반선)

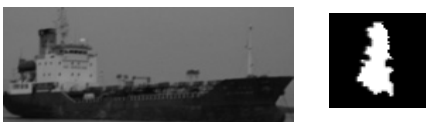


그림 16. 선박 HACE와 추출된 반사단면적

형태 분류가 가능할 것이다. Askari와 Zerr(2000)는 선박의 길이 대 넓이의 비율(length-to-width ratio)의 값이 선박 structure를 나눌 수 있는 하나의 표준 indicator가 될 수 있다고 주장하였다.

일반적인 상선들에서 이 ratio는 6에서 7 정도이고 대형군용선박은 대개 10 이상의 값을 보인다고 설명하였다. 이런 사실을 바탕으로 차후에 선박의 3차원 형상과 레이더 유효반사단면적과의 관계가 규명된다면 좀 더 사실에 가까운 선박분류를 할 수 있을 것으로 판단된다.

3.4 정확도 평가.

그림 17은 항만 및 그 진입수역에 대한 해상교통관제(VTS-Vessel Traffic Services)시스템의 모습이며 선박에 장착된 GPS와 항만 육상레이더망을 통해 선박의 위치를 보여주고 있다. 이 자료를 이용하여 실험상의 추출된 선박 후보의 위치 정확도를 파악한다. 실험영상에서 제안된 방법으로 추출된 선박의 개수는 5개로 확인되었지만 그 시점의 같은 지역의 실제 선박 유무를 해상교통관제 현황도(그림 17, 좌)를 통해 조사한 결과 4개의 선박이 있는 것으로 확인되었다.

실험영상에서 제안된 방법의 적용 결과로 DEDA 선박이 두 개의 다른 선박으로 추출되었는데, 현장에서 직접 확인한 자료에는 한 개의 동일 선박만이 존재하는 것으로 확인되었다. 그 이유는 그림 18의 지정된 두 개의 원

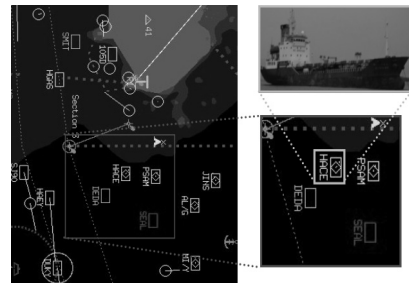


그림 17. (좌)실시간 해상교통관제 현황도, (우top) HACE 선박 (우bottom) 실험영상 영역

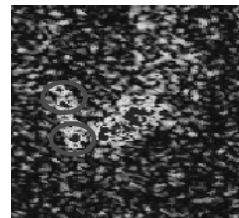


그림 18. DEDA 선박 반사단면적

형부분이 공진(共振) 효과와 radar shadow 등으로 인하여 잘못 추출되었을 가능성이 크기 때문이다. 울산항 현장에서 레이더영상이 취득되는 동일 시간대에 그림 17상의 DEDA, HACE, PSAM, SEAL 4개 선박의 실제 경위도 좌표(그림 19)를 취득하였다. 이 현장 실측 자료를 바탕으로 본 연구에서 제안된 선박탐지기법에 의해 탐지된 선박의 위치정확도를 평가하였다.(표 5와 6)

경위도 좌표를 TM 좌표로 변환하여 현장에서 직접 실측한 선박 위치 좌표와 실험적용으로 추출된 선박 중심 위치좌표와의 차이를 나타내면 표 7과 같다.

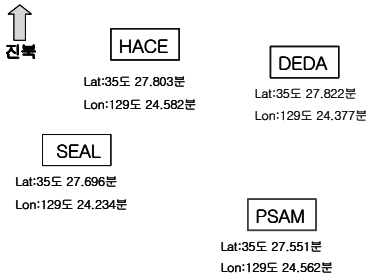


그림 19. 선박의 실측 경위도 좌표

표 5. 제안된 기법으로 추출된 선박의 중심 위치 좌표

선박	위도	경도
SEAL	35.463321	129.409966
HACE	35.465597	129.402702
PSAM	35.461063	129.405476
DEDA	35.464928	129.403724

표 6. 도 단위로 환산된 실측 위치 좌표

선박	위도	경도
SEAL	35.461600	129.403900
HACE	35.463383	129.409700
PSAM	35.459183	129.409366
DEDA	35.463700	129.406283

표 7. 실험결과 좌표값과 실측 좌표값간의 오차

(단위:m)

X(남북방향) Orig	Y(동서방향) Orig	X(남북방향) 실험	Y(동서방향) 실험	남북 방향차	동서 방향차
218412.00303	236658.75721	218605.19637	237208.52976	-193.193	-549.773
218611.97435	237184.35892	218854.97911	236548.21557	-243.005	636.1434
218145.90811	237155.97631	218353.01537	236802.04344	-207.107	353.9329
218645.86050	236874.08571	218781.14015	236641.27364	-135.28	232.8121

좌표값간의 오차를 가지고 각각 남북방향과 동서방향에서의 RMSE를 구하여 정량적으로 위치 정확도를 확인한다.

계산된 X(남북방향) RMSE는 약198.47477m 이고, Y(동서방향) RMSE는 약 469.867031m로 확인되었다.

Radarsat-1의 공간해상도가 센서운용형식에 따라 10~100m인 점을 감안하면 계산된 RMSE는 허용범위 내에 있다고 할 수 있다. 기하보정과 좌표변환과정에서 기계적이거나 random한 오차가 1분이라도 발생한다면 해상에서의 위치정확도는 크게 떨어질 수밖에 없다.

제안된 방법으로 실험영상에서 탐지된 선박 중에서 선박 DEDA가 레이더 shadow와 여러 잡음 등의 이유로 두개 선박으로 잘못 탐지되었기 때문에, 선박의 침로 추출은 나머지 3개의 선박에 의해서만 현장 레퍼런스 자료를 통해 검증한다.

침로 방향 결정의 기준이 되는 진북은 그림 20과 같다. 이를 바탕으로 HACE, PSAM, SEAL 선박의 heading을 변환과정을 거쳐 구한다. 그림 21과 그림 22에서 HACE, PSAM, SEAL 선박의 진행각은 각각 9.85 degree, 11.4

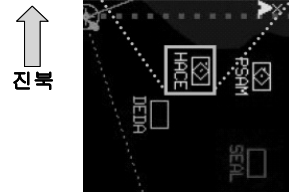


그림 20. 실험영상의 진북 방향

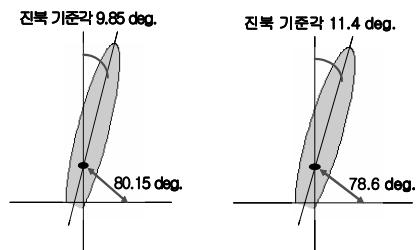


그림 21. HACE(좌)의 진행각, PSAM(우)의 진행각

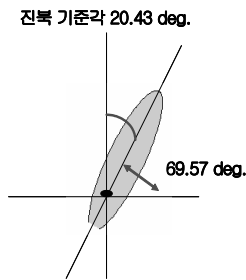


그림 22. SEAL의 진행각

degree, 20.43 degree로 결과 값이 계산되었다.

HACE, PSAM, SEAL 선박의 heading은 현장의 상용 선박GPS plotter를 통해 대략 5도, 5도, 15도 정도인 것으로 확인되었다. 선박의 진행방향에 대한 추출 결과는 가능성을 타진하는 정도로 그쳤으며, 추후 세밀한 분석이 필요할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 해양모니터링에 활용될 수 있는 자동화된 선박탐지방법에 관한 연구를 수행하였고 그 결과를 울산항 현장 실측 자료를 통해 검증하였다. Radarsat SAR 위성영상의 경우 기상조건과 주야에 관계없이 자료를 취득할 수 있다는 점과 10m~100m의 고해상도 영상을 얻을 수 있다는 점에서 실험데이터로 사용되었다. 레이블링 기법과 거리 클러스터링, 형태학적 필터링 등을 사용하여 선박형체탐지에 중점을 두었으며, 탐지의 결과가 기대보다 정확하지는 않았지만 실험데이터의 해상도와 육상이 아닌 해상에서의 자료를 이용한 정확도 평가인 것을 감안하면 실험 결과는 충분히 긍정적인 의의를 가진다고 말할 수 있다.

본 연구에서 수행하고자 했던 Radarsat SAR 단 영상을 이용한 자동화된 선박탐지구현 방법은 기하보정 좌표변

환과정에서 지구곡률이나, 해수면 효과 등의 고려가 없었기 때문에, 향후 연구에서는 이를 보완해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형 국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보 C03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. N.Otsu, 1979, A threshold selection method from graylevel histogram, IEEE Trans, System Man Cybernetics, Vol. SMC-9, No.1, pp. 62-66.
2. K.EIDhuset, 1996, An automated ship and ship wake detection system for spaceborne SAR images in coastal regions, IEEE Trans, Geosci, Remote Sensing, Vol. 34, No. 4, pp.553-560.
3. Q. Jiang, S. Wang, 1998, Ship detection in RADARSAT SAR imagery, International Conference on Systems, Man, and Cybernetics(SMC'98), volume 5, pages 4562-4566.
4. F. Askari & B. Zerr, 2000, Automatic approach to ship detection in spaceborne synthetic aperture radar imagery, technical report SACLANTCEN-SR-338, SACLANT Undersea Research centre, LaSpezia(Italy).
5. C. Wackerman, K. Friedman, 2001, Automatic detection of ships in RADARSAT-1 SAR imagery. Canadian Journal of Remote Sensing, 27(5):568-577.
6. N. Kourti, I. Shepherd, 2001, Integrating spaceborne SAR imagery into operational systems for fisheries monitoring, Canadian Journal of Remote Sensing, 27(4):291-305.
7. M. Sciotti, D. Pastina, 2002, Exploiting the polarimetric information for the detection of ship targets in non-homogeneous SAR images, IGARSS 2002, volume 3, pages 1911-1913.
8. Lin & Vitor Khoo, 2004, Computer based algorithm for ship detection from ERS SAR imagery, Earth ESA symposia,