

SAR 영상을 이용한 자동표적추출 알고리즘의 성능 분석

Performance Analysis of Automatic Target Extraction Algorithms by using SAR Images

허동석*, 김태정

Dongseok Hur*, Taejung Kim

인하대학교 지리정보공학과

E-mail : pabburi@inhaian.net*, tezid@inha.ac.kr

요약 :

SAR 영상에 존재하는 군사표적은 광학 영상에 있는 군사표적에 비하여 쉽게 구별하기 힘들다. 이는 전체 영상에서 군사표적을 구성하는 픽셀의 수가 매우 적기 때문이다. 이러한 문제 때문에 SAR 영상 분석자들은 영상을 분석하는 것이 어렵다. 이 문제를 해결하기 위해서는 자동화된 분석 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 기존에 연구된 SAR 영상을 이용한 자동표적추출 시스템을 분석하고 구현하였다. 구현된 자동표적추출 시스템을 MSTAR 데이터 셋을 이용하여 실험하여 결과를 도출하고, 그 결과를 분석하여 자동표적추출 시스템 각 단계의 성능을 분석하였다. 분석 결과 각 단계별로 최적의 성능을 보여주는 임계값을 알아낼 수 있었다.

1. 서론

구소련의 붕괴 이후 전 세계적인 군사/보안 환경은 갑작스럽게 분쟁이 일어날 가능성이 큰 방향으로 변화하였다(Delaney, 1995). 이런 분쟁에서 레이더는 중요한 역할을 하게 될 것이다. 특히, 합성개구레이더(SAR; Synthetic Aperture Radar) 영상은 광학영상과 달리 구름의 유무나 밤낮에 관계없이 언제나 관측이 가능하다는 이점이 있어서 관측시기에 제약이 많은 광학영상을 대체할 수 있는 유용한 관측수단으로 여겨지고 있다.

이러한 특성을 지닌 SAR 영상을 군사적 목적으로 사용하기 위해서는 신속하게 영상에 존재하는 군사표적의 유무와 종류를 판독할 수 있어야 할 것이다. 그러나 광범위한 지역을 촬영한 SAR 영상에서 육안 관측만을 통하여 군사표적을 신속히 식별하기가 용이하지 않다. 따라서 몇 명의 영상 분석가에 의해서 원하는 표적을 빠르고 정확하게 추출해 내기 힘들다. 이 문제를 해결하기 위해서는 자동화된 방법으로 군사표적을 탐지하고 식별하는 알고리즘의 개발이 필요하다. 특히 SAR 영상에서 표적을 자동으로 추출해내는 자동표적인식(ATR; Automatic Target Recognition) 시스템이 중요한 요소로 부각되고 있고 이미 몇몇 국가에서는 많은 연구가 진행 중에 있다.

본 논문에서는 기존의 연구를 바탕으로 구현한 알고리즘의 성능을 분석하고 각 단계별로 최적의 성능

을 보여주는 결과를 도출하였다.

논문의 2장에서는 실험에 사용된 알고리즘에 대한 설명을, 3장에서는 실험 데이터와 실험 결과 및 성능에 대하여 기술될 것이다. 4장에서는 결론이 기술될 것이다.

2. 알고리즘

2.1 자동표적추출의 단계

ATR은 보통 표적일 것으로 추정되는 곳을 전체 입력 영상에서 찾는 단계인 '검출단계(Prescreening Stage)'와 표적으로 추정되는 영상 중 실제 표적을 찾아서 분류하는 '분류단계(Classification Stage)'로 나뉜다. 이번 실험에서 검출단계는 '탐지단계(Detection Stage)'와 '분리단계(Discrimination Stage)'로 나누어 구현하였고 이는 미국방위고등연구계획국(DARPA)의 ATR 시스템과 유사한 방법이다(Novak et al., 1995).

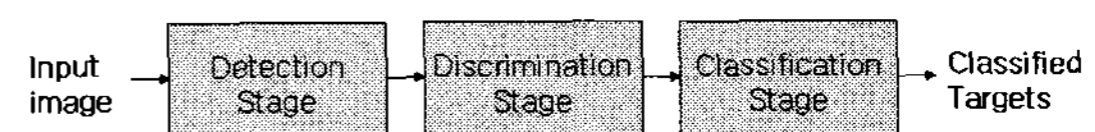


그림 1. ATR 시스템의 블록 다이어그램

그림 1에서와 같이 ATR의 첫 번째 단계는 탐지단계로 입력영상에서 관심영역(ROI; Region Of Interest)을 추출해 내는 단계이다. 관심영역에는 표

적으로 추정되는 곳을 포함하고 있다. 두 번째 단계는 분리단계로 탐지단계에서 얻은 관심영역 중 배경잡음인 것을 걸러내는 역할을 한다. 세 번째 단계인 분류단계에서는 실제 표적을 담고 있는 관심영역을 표적별로 분류하는 역할을 하게 된다.

2.2 탐지단계

탐지단계에서는 일반적으로 Two Parameter Constant False Alarm Rate(CFAR) Detector(이하, CFAR 탐지기) 알고리즘을 사용한다. CFAR 탐지기는 밝기와 대비를 기반으로 표적일 것으로 추정되는 곳을 찾게 된다. 그림 2는 이러한 CFAR 탐지기의 구조를 보여주고 있다.

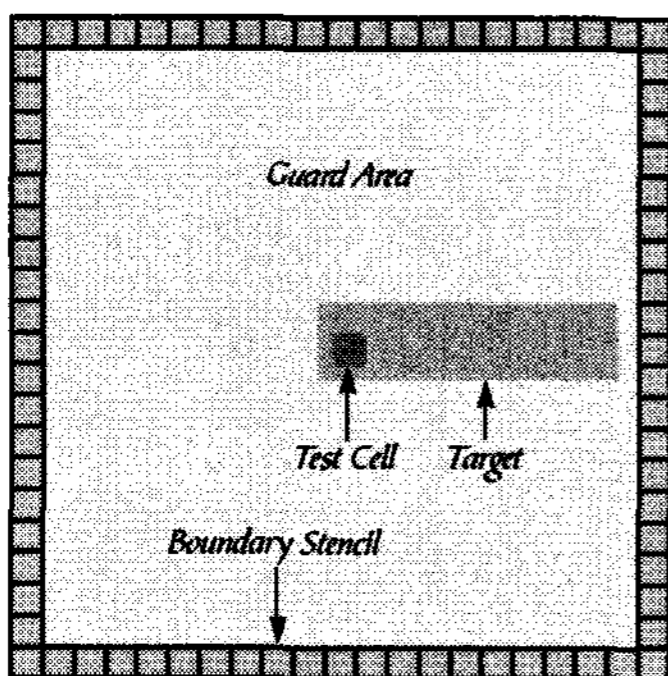


그림 2. CFAR 탐지기의 구조 (Novak et al., 1995)

또한 CFAR 탐지기의 알고리즘은 식 (1)과 나타낼 수 있다.

$$\frac{X_t - \hat{\mu}_c}{\hat{\sigma}_c} > K_{CFAR} \quad (1)$$

식 (1)에서 X_t 는 검사점(Test Cell)의 밝기 값, $\hat{\mu}_c$ 는 주변부(Boundary Stencils)의 평균 밝기 값을, $\hat{\sigma}_c$ 는 주변부의 밝기 값 표준편차를 나타낸다.

K_{CFAR} 는 임계값으로 검사점이 임계값보다 크면 표적으로 작으면 배경잡음으로 분류된다. 이번 실험에서는 CFAR 탐지기에 관심영역 추출 알고리즘을 추가로 구현하여 진행되었다. CFAR 탐지기에 관한 자세한 내용은 Novak et al.(1995)의 논문에서 찾을 수 있고, 추가로 구현된 알고리즘에 대한 내용은 허동석, 김태정(2006)의 논문에서 찾을 수 있다.

2.3 분리단계

분리단계에서는 탐지단계를 거친 관심영역들을 대

상으로 분리인자(Discrimination Feature)를 계산하여 실제 표적 영상의 분리인자와 거리(Quadratic Distance)가 가까운 것을 표적으로 판단하게 된다. 분리단계에서 계산되는 분리인자 값들은 표 1과 같다.

Textural Features	Standard Deviation
	Fractal Dimension
	Weighted Rank Fill Ratio
Size Features	Mass
	Diameter
	Normalized Rotational Inertia
Contrast Features	Peak CFAR
	Mean CFAR
	Percent Bright CFAR

표 1. 분리인자 값

이 중에서 표적과 배경잡음 간에 확연한 차이를 있는 몇몇 분리인자 값을 선택하여 식 (2)의 행렬에 대입한다. 분리인자 값의 차이는 실제 표적과 실제 배경잡음 데이터를 이용하여 계산된 분리인자 값을 통해 구할 수 있다.

$$d(X) = \frac{1}{n} (X - M)^T \Sigma^{-1} (X - M) \quad (2)$$

식 (2)에서 n 은 선택된 분리인자의 개수, M 행렬은 실제 표적의 선택된 분리인자 값의 평균이고 Σ 는 M 행렬의 공분산 행렬이다. X 행렬은 입력받은 관심영역의 분리인자 값들 중 M 행렬에 선택된 값들과 동일한 것이다. 분리인자 값 계산에 관한 자세한 내용은 Novak et al.(1995)의 논문에서 찾을 수 있다.

3. 실험 데이터 및 결과

3.1 실험 데이터

본 논문에서는 구현한 알고리즘 실험을 MSTAR(Moving and Stationary Target Acquisition and Recognition) 데이터를 이용하였다. 이 데이터는 DARPA에서 ATR 시스템의 개발을 위해 획득한 데이터로 동일 분야 연구자들을 위해서 일부가 공개되어 있고 이번 연구에서도 사용되었다. 그림 3은 이러한 MSTAR 데이터 중 배경잡음(Clutter) 영상 중 하나를 나타낸 것이다.

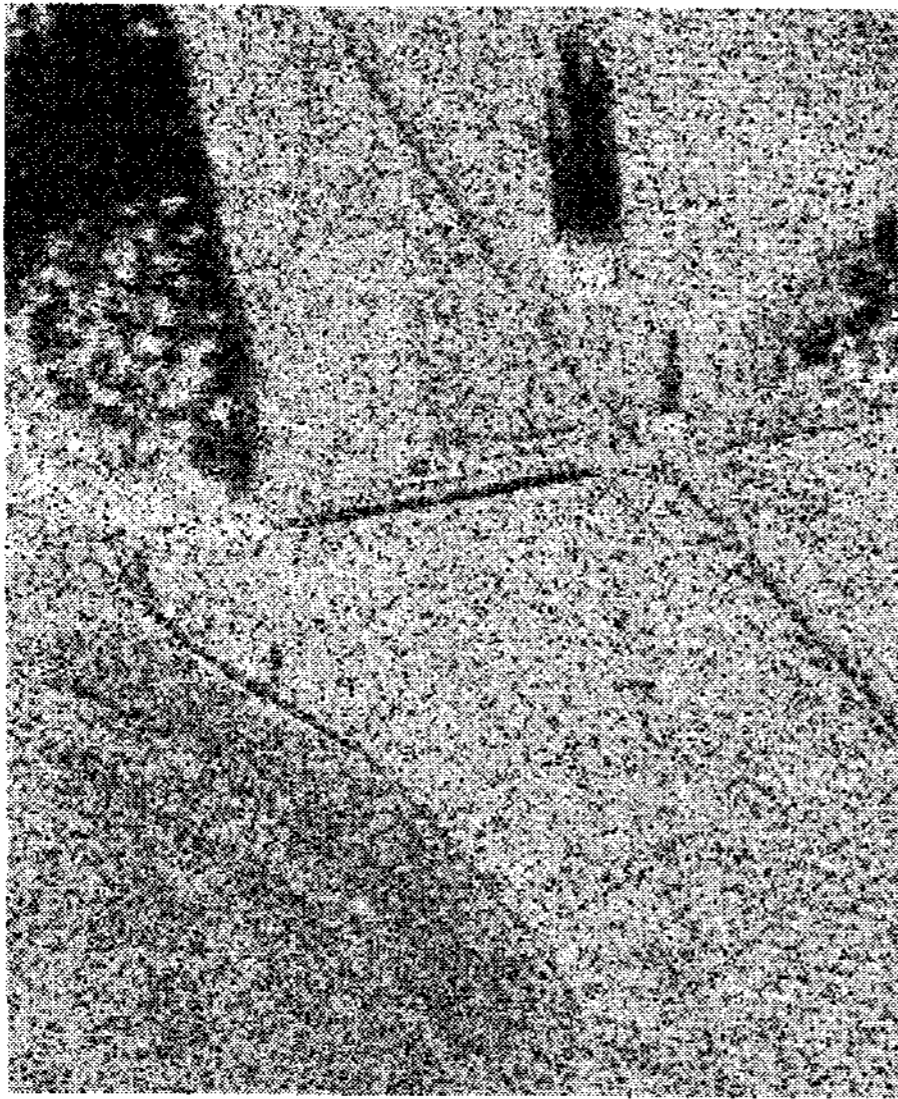


그림 3. MSTAR 데이터 중 배경잡음 데이터

탐지단계 실험은 그림 3과 같은 배경잡음 데이터와 임의로 선정된 90개의 표적 영상에 임계값을 적용하여 성능 곡선을 그리는 방법으로 수행되었다. 성능 곡선의 X축은 Pd(Probability of Detection) 값으로 탐지된 표적의 개수를 전체 표적의 개수로 나눈 값이다. 성능 곡선의 Y축은 FAR(False Alarm Rate) 값으로 단위면적(1km²) 당 몇 개의 오탐지(False Alarm)가 존재하는지를 나타내는 값이다.

분리단계 실험은 우선 실제 표적과 배경잡음 데이터를 대상으로 분리인자를 계산한 뒤 그 데이터를 바탕으로 표적과 배경잡음을 분리하는 최적의 분리인자를 선택하고 그 값을 이용하여 거리(Quadratic Distance)를 계산하여 탐지단계 실험과 동일한 성능 곡선을 그리는 방법으로 진행되었다. 분리단계 거리 임계값 실험은 4개의 배경잡음 영상이 탐지단계를 거치나온 관심영역 데이터와 임의로 선정한 표적 데이터를 이용하여 진행되었다. 이때 탐지단계의 임계값은 5로 동일하게 적용하였다. 이 결과를 바탕으로 탐지단계를 거친 관심영역에 대하여 동일 과정을 수행하여 성능 곡선을 얻었고 이때 거리 임계값은 4로 설정하였다.

3.2 실험 결과

탐지단계 실험은 임계값을 80에서 5까지 특정 간격을 두고 설정하여 진행되었다. 임계값은 80, 65, 50, 40, 30, 20, 15, 10, 5 순으로 차례로 줄여가면서 실험하였다. 실험에 사용된 10개의 MSTAR 배경잡음 영상의 성능 곡선은 그림 4와 같다.

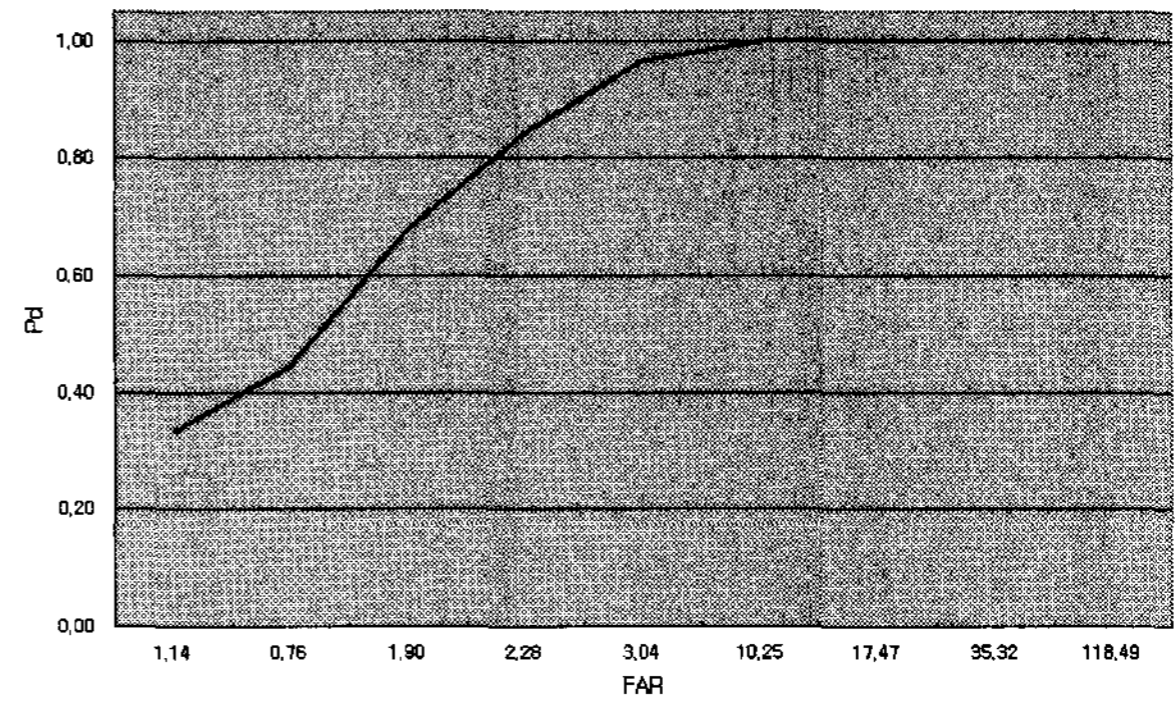


그림 4. 탐지단계 성능 곡선

실험에 사용된 표적의 개수는 한 영상 당 90개, 각 영상의 면적은 약 2.63km²였다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 임계값이 커질수록 Pd와 FAR 값이 같이 작아지고, 임계값이 작아질수록 Pd와 FAR 값이 커진다. 또한 임계값이 작아질수록 탐지되는 표적의 수는 증가하지만 오탐지의 개수는 기하급수적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다(표2).

실험 결과 적절한 Pd와 FAR 값이 적절히 조화를 이루어 최적의 성능을 보여주는 임계값은 20~30 사이인 것을 확인할 수 있었다. 표2는 탐지단계 실험 결과 중 하나의 영상의 임계값에 따른 전체 탐지 개수, 탐지 표적의 개수, Pd 그리고 FAR 값을 나타낸 것이다.

HB06184 - detection					
임계값	탐지_전체	오탐지	탐지_표적	Pd	FAR
80	33	3	30	0.33	1.14
65	42	2	40	0.44	0.76
50	66	5	61	0.68	1.90
40	82	6	76	0.84	2.28
30	95	8	87	0.97	3.04
20	117	27	90	1.00	10.25
15	136	46	90	1.00	17.47
10	183	93	90	1.00	35.32
5	402	312	90	1.00	118.49

표 2. 탐지단계 실험 결과

분리단계 실험의 경우 실제 표적과 배경잡음 데이터를 대상으로 훈련을 통해 얻은 거리 값이 배경잡음의 경우 평균 129.73, 표적의 경우 평균 0.78, 최대값은 3.995가 나왔다. 그림 5는 4개의 배경잡음 영상과 각 영상별로 표적 90개를 이용하여 실험한 결과이다.

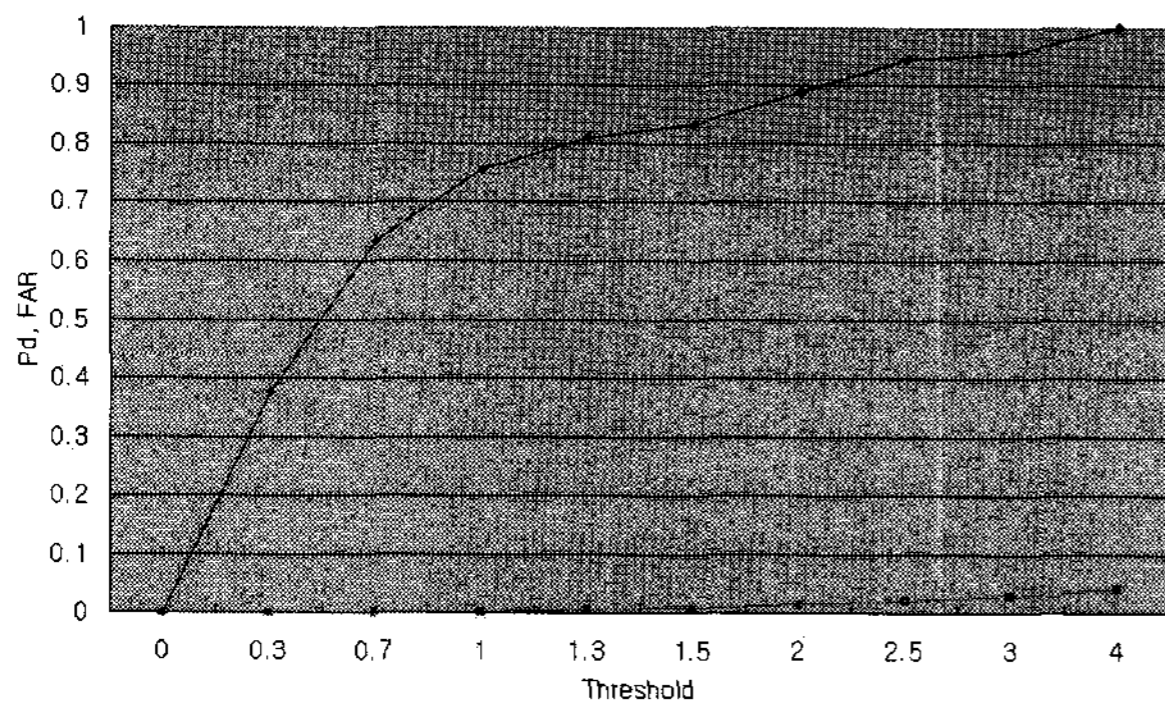


그림 5. 분리단계 거리 임계값 계산 곡선

그림 5의 FAR의 경우 전체 관심영역 대비 특정 거리 임계값을 넘은 배경잡음의 수를 나타낸다.

실험에 사용된 배경잡음과 표적의 개수는 각 영상 별로 탐지단계를 거쳐 나온 수와 같다. 분리단계의 경우 Pd에 따라 FAR이 일정하게 변하지는 않았으나 오탐지 개수는 Pd가 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있었다(표3).

표3은 표2의 실험결과에 구현한 분리단계 알고리즘을 적용하여 얻은 결과이다. 이때 거리 임계값은 4로 하였다.

HB06184 - discrimination / T=4					
임계값	탐지_전체	오탐지	탐지_표적	Pd	FAR
80	33	3	30	0.33	1.14
65	42	2	40	0.44	0.76
50	66	5	61	0.68	1.90
40	82	6	76	0.84	2.28
30	95	8	87	0.97	3.04
20	117	12	90	1.00	4.56
15	136	17	90	1.00	6.46
10	183	15	90	1.00	5.70
5	402	37	90	1.00	14.05

표 3. 분리단계 실험 결과

표 3과 표 2를 비교해 보면 Pd의 경우 동일하게 탐지되는 것을 볼 수 있다. FAR 값의 경우 탐지단계와 동일하게 분리단계에서도 임계값이 작아질수록 커지는 것을 볼 수 있다. 하지만 전반적으로 값은 크게 감소한 것을 확인할 수 있다. 오탐지의 경우 표 2에서는 탐지율이 증가할수록 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 분리단계를 거친 표 3에서는 탐지율의 증가에 따라 오탐지가 증가하지만 탐지단계에서 만큼 큰 수치를 보여주지 않는다. 따라서 탐지단계에서 분리단계를 거치면서 많은 수의 배경잡음이 걸러지는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 SAR 영상을 이용한 자동표적추출 알고리즘을 구현하고 실험하여 성능을 분석하였다. 그 결과 각 단계에서 최적의 성능을 보여주는 임계값을 구할 수 있었다. 또한 최적의 성능을 위하여 다양한 실험을 하였고 그것을 통해 각 단계별 성능과 최고의 성능 혹은 최적의 성능을 낼 수 있게 하는 인자들에 대한 정보를 얻을 수 있었다.

MSTAR 데이터를 이용할 때, 탐지단계의 경우 임계값 20~30이 오탐지율이 적은 최적의 성능을 보여주었다. 분리단계의 경우 최대한 모든 표적을 거르기 위해서 훈련결과로 나온 표적 거리의 최대값을 적용하였다. 그 결과 탐지단계를 거친 관심영역들이 분리단계를 거치는 경우 오탐지 개수가 확연히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

추후 다른 SAR 데이터 혹은 추가적인 MSTAR 데이터를 이용한 실험을 진행하고 다른 알고리즘을 적용하여 전체적인 자동표적추출 시스템의 성능이 향상되도록 하는 실험이 이루어져야 하겠다.

마지막 분류단계의 경우 분리단계를 거친 관심영역에 MSE(Mean Square Error) 분류기(Classifier)를 거쳐 각 표적별 데이터베이스의 MSE 값과 비교 가장 근접한 쪽으로 분류하는 방식으로 진행되는데 실험이 진행 중에 있다.

사사

본 연구는 국방과학연구소의 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

Dongseok Hur, Taejung Kim, 2006, Automatic Detection of Targets in SAR Images, *International Symposium on Remote Sensing 2006 Pan Ocean Remote Sensing Conference*

Leslie M. Novak, Shawn D. Halversen, Gregory J. Owirka, Margarita Hiett, 1995, Effects of Polarization and Resolution on the Performance of a SAR ATR System, *The Lincoln Laboratory Journal vol.8 no.1*, pp.49-68

W.P. Delaney, 1995, The Changing World, The Changing Nature of Conflicts - a Critical Role for Military Radar, *IEEE International Radar Conference*, pp.11-15