

# SAR 영상을 이용한 자동 표적 식별 기법에 대한 연구

## A Study on Automatic Target Recognition Using SAR Imagery

박 종 일 · 김 경 태

Jong-Il Park · Kyung-Tae Kim

### 요 약

레이더 영상이나 광학 영상, 적외선 영상 등을 이용하여 표적을 식별하는 기술을 NCTR(Non-Cooperative Target Recognition) 또는 ATR(Automatic Target Recognition)이라 한다. 그 중에서 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상을 이용하여 자동으로 지상 표적을 식별하는 것을 SAR ATR이라고 한다. 일반적으로 SAR ATR은 탐지, 변별 및 식별 단계로 구성된다. 본 논문에서는 ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) 영상 식별을 위해 개발된 극사상 식별기(polar mapping classifier)를 수정하여 SAR 표적 식별에 이용하였으며, 전처리 과정을 통해 클러터 화소의 영향을 줄이고 표적의 그림자 화소들 표적 식별에 이용하여 식별 성능을 향상시켰다.

### Abstract

NCTR(Non-Cooperative Target Recognition) and ATR(Automatic Target Recognition) are methodologies to identify military targets using radar, optical, and infrared images. Among them, a strategy to recognize ground targets using synthetic aperture radar(SAR) images is called SAR ATR. In general, SAR ATR consists of three sequential stages: detection, discrimination and classification. In this paper, a modification of the polar mapping classifier(PMC) to identify inverse SAR(ISAR) images has been made in order to apply it to SAR ATR. In addition, a preprocessing scheme can mitigate the effect from the clutter, and information on the shadow is employed to improve the classification accuracy.

Key words : SAR, Ground Target, ATR, Classifier

### I. 서 론

레이더(radio detection and ranging)는 전자기파(electromagnetic wave)를 이용하여 표적의 거리, 상대 속도를 측정하는 센서이다. 현재, 레이더의 운용 대역폭이 넓어짐에 따라 신호 처리를 통하여 레인지 프로파일(range profile)과 같은 1차원 레이더 영상을 획득할 수 있으며, 또한, 코히어런트(coherent)한 신호를 여러 개 방사한 후 표적의 회전 성분을 이용하여 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상이나 ISAR(In-

verse Synthetic Aperture Radar) 영상과 같은 2차원 레이더 영상을 획득할 수 있다<sup>[1],[2]</sup>. 이러한 1, 2차원 레이더 영상이나 광학 영상, 적외선 영상 등을 이용하여 표적을 식별하는 기술을 NCTR(Non-Cooperative Target Recognition) 또는 ATR(Automatic Target Recognition)이라 한다<sup>[3]~[8]</sup>. 레이더 신호는 시간과 기후의 제약을 받지 않고 정보 획득 거리가 다른 센서에 비하여 길기 때문에 NCTR 또는 ATR 기술에서 핵심적인 센서이다.

SAR 영상을 이용하여 자동으로 지상 표적을 식

「이 논문은 2011년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.」

포항공과대학교 전자전기공학부(Department of Electronic Engineering, POSTECH)

· 논문 번호 : 20110805-081

· 교신저자 : 김경태(e-mail : kkt@postech.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 9월 16일



그림 1. SAR ATR 과정  
Fig. 1. SAR ATR procedure.

별하는 것을 SAR ATR이라고 하며, 많은 연구가 진행되고 있다<sup>[5]~[7]</sup>. SAR ATR에는 해결해야 할 여러 가지 문제들이 있다. 훈련 데이터(training data)의 내림각(depression angle)과 식별해야 할 시험 데이터(test data)의 내림각이 다르거나, 식별해야 할 표적의 위치에 따라 클러터(clutter)의 종류가 다르며, 레이더가 탑재된 플랫폼과 표적 사이의 거리의 변화에 의한 반사파의 세기가 훈련 데이터와 시험 데이터의 SAR 영상의 화소의 신호 레벨의 차이로 발생한다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 SAR ATR 기술을 개발하여야만 효율적인 군사 작전을 수행할 수 있다.

그림 1과 같이 일반적인 SAR ATR은 3단계로 이루어지며, 탐지(detection), 변별(discrimination), 식별(classification) 과정으로 나누어진다<sup>[5]</sup>. SAR 영상이 입력으로 들어오면 탐지 과정에서는 잠재적인 표적(potential target)을 탐지하고, 변별 과정에서는 잠재 표적들 중에서 클러터를 제거하며, 식별 과정에서는 표적을 분류하여 표적의 기종을 판별한다.

SAR ATR 중에서 핵심 과정은 변별 과정과 식별 과정이다. 방대한 지역의 정보를 담고 있는 SAR 영상의 특성으로 인해 표적에 대한 관심 영역(region of interest)뿐만 아니라 각종 클러터에 대한 관심 영역이 탐지 과정의 결과로 나타나기 때문에 변별 과정에서 다양한 클러터를 제거함으로써 식별 성능을 향상시키고 계산 시간도 줄일 수 있다. 식별 과정에서는 변별 과정을 통과한 관심 영역에 있는 표적을 민간 차량, 탱크, 장갑차, 곡사포 등과 같이 정확한 기종을 판단한다. SAR 영상에 존재하는 표적은 내림각과 방위각(azimuth angle)에 따라 많은 차이를 보인다. 전지에서 레이더와 표적 사이의 내림각은 탑재된 플랫폼의 고도 조절로 일정 수준까지 조절 가능하기 때문에 데이터 베이스와 정확하게 일치하는 내림각의 데이터를 얻을 수는 없지만, 비슷한 내림각의

데이터를 획득하는 것은 가능하다. 하지만 표적의 방위각은 표적에 의해 결정되기 때문에 데이터 베이스와 동일한 방위각의 데이터를 획득할 수 없다. 그래서 식별기는 표적의 내림각과 방위각 변화에 대해서 정확하게 표적을 식별해야 한다.

## II. 제안된 표적 식별기

SAR ATR 최종 목적은 표적의 기종을 알아내는 것이기 때문에 식별 단계가 가장 중요하다. SAR 영상은 광학 영상에 비해 낮은 해상도를 가져 차량 형태의 표적을 구성하는 화소의 개수가 표적의 크기에 비해 작다. 그래서 인간의 눈으로 기종을 파악하기 힘들다. 그리고 SAR 영상은 일반 광학 영상과 달리 회색조로 나타나며, 영상의 밝기는 거리에 민감하게 변한다. 또한, 그림 2(a)와 같이 SAR 영상에는 표적에 의한 화소들 뿐만 아니라 표적의 그림자 화소들과 주변 클러터 화소들이 많이 포함되기 때문에 더욱 표적 식별 성능의 저하된다. 높은 식별 성능을 얻기 위해서는 영상에 포함된 표적에 관련된 정보를 최대한 많이 추출하면서 표적 식별에 나쁜 영향을 미치는 클러터의 영향을 최소화 줄여야 한다. 기존의 기법들은 클러터의 영향을 줄이기 위해 표적 화소만 추출하여 식별에 이용하거나 평균 필터(mean filter)를 이용하였다. 하지만 표적 화소만 추출하여 식별하는 방법은 훈련 데이터와 시험 데이터 사이의 경계의 불일치로 인한 성능 저하가 발생할 수 있다. 또한, 평균 필터를 이용하는 방법은 클러터의 영향을 줄이기 위해서는 2차원 필터의 사이즈가 커야 하지만 이는 표적의 구조적인 형태를 표현하는 표적 화소들 사이의 변화를 줄이는 결과를 만들기 때문에 성능 저하가 발생할 수 있다. 위에 나열된 문제점을 해결하기 위해 SAR 영상에서는 전처리 과정이 중요하다.

SAR 영상을 직접 식별에 사용하려면 각각의 표

적에 대한 SAR 영상을 데이터 베이스에 저장하여야 한다. 이렇게 할 경우, 내림각과 방위각에 의해 영상이 변하는 점을 감안하면 동일한 표적에 대해 많은 수의 SAR 영상이 필요하기 때문에 데이터 베이스의 저장 공간이 많이 필요할 뿐만 아니라 비교 영상의 수가 많아진다. 그러나 표적 식별에 유리한 특징만을 추출하여 이용하면 데이터 베이스의 저장 공간도 줄일 뿐만 아니라 계산 시간도 줄일 수 있으며, 높은 식별 성능을 얻을 수 있는 장점이 있다<sup>[8]</sup>.

선진국에서는 SAR 영상을 이용한 표적 식별 연구가 많이 수행되었다. 그중에서 링컨 연구소와 미공군 연구소(Air Force Research Laboratory)에서 사용한 MSE(mean squared error) 템플릿 매칭(template matching) 기법<sup>[5]</sup>이나 워싱턴 대학의 conditional Gaussian (CGM) 모델을 이용한 기법<sup>[6]</sup>, 플로리다 대학의 Ada-Boost를 적용한 기법<sup>[7]</sup> 등이 있다. 이 중에서 템플릿 매칭 기법의 경우에는 표적의 영상을 그대로 저장하여야 하기 때문에 저장 공간이 많이 필요하며, 모든 화소를 비교해야 하기 때문에 계산 시간이 많이 소모된다. 또한, 데이터 베이스의 양이 충분하지 못할 경우에 성능 저하가 급격히 발생한다. 또한, 신경망 기반의 기법들이 템플릿 기법의 대안으로 많이 제시되었다. 하지만 이 기법들은 데이터 베이스에 과적합(overfitting)되기 쉽다는 단점이 있다.

## 2.1 전처리 과정

본 논문에서는 ISAR 영상에서 사용된 극사상 식별기(polar mapping classifier)<sup>[4],[8]</sup>를 SAR 표적 식별에 사용하였다. 극사상법은 영상을 극사상 과정을 통해 극영상(polar image)으로 생성한 후 방위각 방향에 대해 불변의 성질을 가지는 특성 벡터와 영상을 압축한 특성 벡터를 표적 식별에 이용한 기법이다.

레이더와 표적 간의 거리 차이로 인한 SAR 영상의 신호 레벨의 변화를 줄이기 위해 정규화(normalize)를 수행한다<sup>[8]</sup>.

$$I_n(x_i, y_j) = \frac{I_o(x_i, y_j)}{\sum_i^M \sum_j^N I_o(x_i, y_j)} \quad (1)$$

여기서,  $M \times N$  크기의  $I_o(x_i, y_j)$ 는 표적의 SAR 영상이고,  $I_n(x_i, y_j)$ 는 정규화된 SAR 영상이다.

SAR 영상은 ISAR 영상과 달리 영상에 클러터의 영향이 매우 크다. 표적이 포함된 SAR 영상에는 클러터 화소가 많기 때문에 먼저 표적과 표적의 그림자의 화소를 클러터 화소로부터 분리(segmentation)해야 한다. 이는 모폴로지(morphology) 기법을 이용하여 그림 2와 같이 표적과 표적의 그림자의 화소를 클러터 화소와 분리한다. 이렇게 분리한 클러터의 화소는 클러터의 평균을 구하는데 이용된다.

$$\hat{\mu}_c = \frac{1}{N_c} \sum_{k_1 \in \text{clutter}}^{N_c} I_{nk_1} \quad (2)$$

여기서,  $\hat{\mu}_c$ 는 클러터 화소의 평균,  $N_c$ 는 클러터 화소의 개수이며,  $I_{nk_1}$ 는 클러터 화소이다. 클러터 화소의 평균을 이용하여 클러터의 신호 레벨을 제거하는 식(3)과 같은 과정을 수행한다.

$$I_{nn}(x_i, y_j) = I_n(x_i, y_j) - \hat{\mu}_c \quad (3)$$

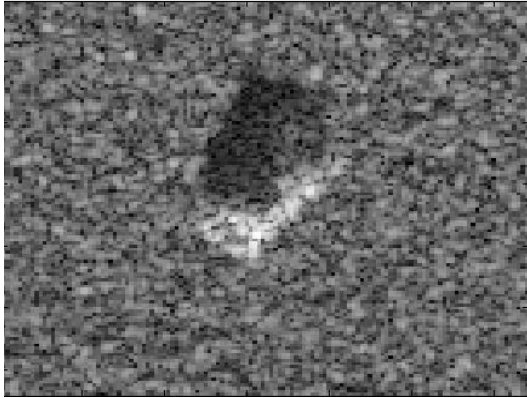
SAR 영상을 극사상 영상으로 변환하기 위해 영상의 중심을 구해야 한다. 모폴로지 과정을 수행하여 얻은 그림 2(b)의 표적 화소로부터 무게 중심을 아래의 식과 같이 구하여 극사상의 중심으로 이용한다.

$$(x_c, y_c) = \left( \frac{1}{N_t} \sum_{k_2 \in \text{target}}^{N_t} x_{k_2}, \frac{1}{N_t} \sum_{k_2 \in \text{target}}^{N_t} y_{k_2} \right) \quad (4)$$

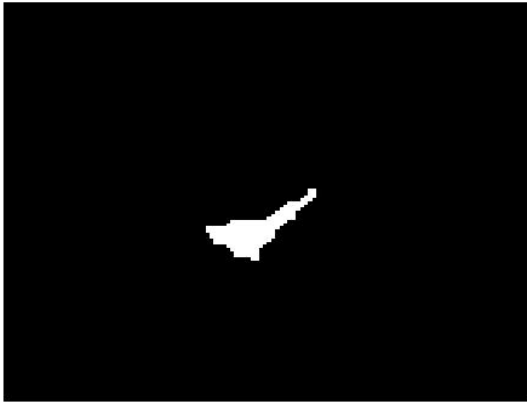
극사상의 중심으로부터 최대 반경( $R_{\max}$ )을 설정해야 한다. SAR 레이더는 레이더가 이동하면서 표적을 관찰하기 때문에 영상의 해상도를 조절할 수 있기 때문에 고정된 최대 반경을 적용한다.

## 2.2 특성 벡터 추출 과정

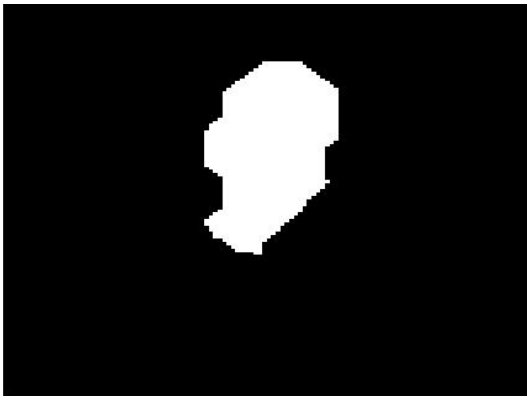
극사상 과정은 표적 식별에 사용되는 특성 벡터를 추출할 때 쓰일 그림 3과 같은 극영상을 얻는 과정이며, 영상으로부터 추출하는 특성 벡터는 거리 방향 사상(projection) 영상  $I_r(r)$ , 방위각 방향 사상 영상  $I_\theta(\theta)$  그리고 압축된 극영상으로 구성된다<sup>[4],[8]</sup>.  $I_r(r)$ 과  $I_\theta(\theta)$ 만으로는 극영상이 가지는 모든 정보를 표현하기 어렵기 때문에 주성분 분석법이나 영상 주성분 분석법(image principal component analysis)을 적용하여 극영상의 차원보다 작은 차원으로 극영상



(a) 표적의 SAR 영상  
(a) SAR image of a target



(b) 그림 (a)의 모폴로지 영상  
(b) The morphology image of Fig. (a)



(c) 표적 및 표적의 그림자를 클러터로부터 분리하는 마스크  
(c) Segmentation mask pixels of target and target's shadow from pixels of clutter

그림 2. 표적과 클러터를 분리하는 과정  
Fig. 2. The procedure of segmentation target area from clutter.

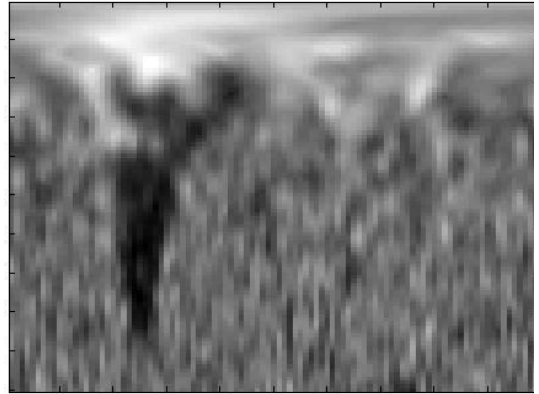


그림 3. 그림 2(a)의 극영상  
Fig. 3. The polar image of Fig. 2(a).

의 정보 손실을 최소화하여 극영상을 표현하는 특성 벡터를 추출 가능하다. 영상 주성분 분석법이 주성분 분석법에 비해 계산량이 작기 때문에 본 논문에서는 영상 주성분 분석법을 이용하여 압축된 특성 벡터를 생성하였다. 영상 공분산 행렬의 고유값 분해를 통해 얻은 변환 행렬을 이용하여  $l$ 개의 원소로 가지는 행렬을 생성한 후 벡터화 하여 특성 벡터 ( $I_{IMPCA}(l)$ )를 생성하였다. SAR 영상의 공분산행렬에 대한 고유값을 계산하면 대부분의 에너지가 몇 개의 값에 큰 고유값뿐만 아니라 작은 값을 가지는 고유값도 다수 존재하며, 작은 값을 가지는 고유값들은 표적이나 표적의 그림자의 화소가 아닌 클러터 영상 대한 정보를 포함하기 때문에 적절한 개수의 고유값을 선택하여야 한다.

결과적으로 데이터 베이스는 극영상에 대한 거리 방향 투영영상  $I_r(r)$ , 방위각 방향 투영영상  $I_\theta(\theta)$  그리고 영상주성분 분석법에 의해 압축된 특성 벡터  $I_{IMPCA}(l)$ 로 구성된다.

### 2-3 식별기 설계

2-2절에서 생성된 특성 벡터를 이용하여 식별에 사용될 식별기는 ISAR 영상 식별에 사용된 식별기와 같이 3단계로 이루어진다.

1단계는 데이터 베이스와 시험 표적의  $I_r(r)$  값으로 거리 방향 사상 영상의 유사도를 계산하여 데이터 베이스의 유사도가 높은 상위  $\eta$ 의 표적들만 선택한다<sup>[4],[8]</sup>.

2단계는 ISAR 영상 식별에  $I_\theta(\theta)$  영상을 방위각 방향으로 정렬시키기 위해 매칭 스코어(matching score) 알고리즘을 이용하여 상관계수 값이 큰 상위  $\gamma$ 의 데이터 베이스를 선택한다<sup>[4],[8]</sup>.

3단계 식별은 ISAR 영상 식별에 사용된 것과 같은 유클리드 거리(Euclid distance)를 이용하여 최종 식별을 수행한다<sup>[4],[8]</sup>.

### III. 표적 식별 실험 및 결과

#### 3-1 MSTAR 데이터

SAR ATR 기술은 1990년대에 MSTAR(Moving and Stationary Target Acquisition and Recognition) 데이터가 공개된 이후에 많은 연구가 있었다. MSTAR 데이터는 미 국방 고등 연구 기획청(Defense Advanced Research Projects Agency)과 미 공군 연구소(Air Force Research Laboratory)에서 군사 표적을 식별하기 위하여 다양한 군사 표적과 다양한 지역에 대한 SAR 영상을 측정한 것이다. 이 데이터는 X-대역의 주파수 영역에서 HH 편파를 이용하여 0.3 m의 해상도로 각종 군사 표적을 다양한 내림각에서 각 표적마다 서로 다른 190~300개의 랜덤한 방위각에 대해 측정하였다. 몇몇 표적에는 연료통, 사이드커튼 등

의 탈부착에 의한 사소한 변화를 준 구조물 변형 및 구조물 변화에 비해 큰 변화를 가지는 버전 변형을 가져서 한 종류의 표적에 다양한 형태의 버전이 있다.

#### 3-2 식별 실험 및 결과

앞서 제안한 방식의 표적 식별 기법의 성능을 평가하기 위해 MSTAR 데이터에 포함된 BMP2, BTR-70, T72, BRDM2의 4가지 표적에 대한 SAR 영상을 이용하였다. 어떤 표적에는 여러 개의 변형이 포함된 표적도 있기 때문에 총 8가지 변형이 존재한다. BTR70, BRDM2는 하나의 변형이 있으며, BMP2와 T72는 3가지 변형을 이용하였다.

각각의 영상은  $N_r = N_\theta = 100$ ,  $R_{max} = 50$ 으로 선택하여 극영상을 생성하였다. 여기서,  $N_r$ ,  $N_\theta$ 는 각각 극영상의 반경 방향과 각도 방향의 샘플링 갯수이고,  $R_{max}$ 는 최대 샘플링 반경이다<sup>[4],[8]</sup>. 생성된 극영상으로부터 100의 차원을 가지는 특성 벡터  $I_r(r)$ ,  $I_\theta(\theta)$ 와 영상주성분 분석법을 이용하여 1000의 차원을 가지는  $I_{MPCA}(I)$ 를 생성하였다. 본 논문에서 사용된  $\eta$ ,  $\gamma$ 는 ISAR 영상 식별<sup>[4],[8]</sup>에 사용된 값과는 달리 내림각이 17°인 훈련 데이터만으로 랜덤하게 훈련 및 시험 데이터로 나누어 3-종류 식별 실험을 한 결과, 최적의 값을 보이는 0.4, 0.9로 선택하였다.

표 1. 극사상 식별기의 3표적 식별 성능(훈련데이터 - 내림각 17°, 시험데이터 - 내림각 15°)

Table 1. Confusion matrix of 3-class classification problem of PMC classifier(training data - depression angle 17°, test data - depression angle 15°).

	Variant	BTR70	BMP2	T72	$P_c$ (%)
BTR70	C71 *	196	0	0	100.00
BMP2	9563	1	194	0	99.49
BMP2	9566	3	187	6	95.41
BMP2	C21 *	0	196	0	100.00
T72	132 *	0	1	195	99.49
T72	812	1	8	186	95.38
T72	S7	0	0	191	100.00
Total		201	586	578	98.53

표 2. 3표적 식별 실험에서의 다양한 식별기의 성능<sup>[7]</sup>

Table 2. Correct classification performance of different classifiers<sup>[7]</sup>.

(%)

	PMC	AdaBoost	MSE	Neural Network	SVM
$P_c$	98.53	96.41	89.7	94.07	94.87

표 3. 극사상 식별기의 4표적 식별 성능(훈련데이터 - 내림각 17°\*, 시험데이터 - 내림각 15°)

Table 3. Confusion matrix of 4-class classification problem of PMC classifier(training data - depression angle 17°\*, test data - depression angle 15°).

	Variant	BRDM2	BMP2	BTR70	T72	$P_c$ (%)
BRDM2	E71 *	274	0	0	0	100.00
BTR70	C71 *	0	196	0	0	100.00
BMP2	9563	4	1	190	0	97.44
BMP2	9566	5	1	185	5	94.39
BMP2	C21 *	1	0	195	0	99.49
T72	132 *	0	0	1	195	99.49
T72	812	0	1	8	186	95.38
T72	S7	0	0	0	191	100.00
Total		284	199	579	577	98.35

BRDM2, BTR70, BMP2, T72의 4 종류의 표적 중에 3 종류 표적의 7개의 변형에 대한 표적 식별실험을 하였다. 표 1은 극사상 식별기의 식별 성능에 대한 분류 행렬(confusion matrix)을 보여준다. 훈련 데이터는 내림각이 17°인 BTR70의 C71, BMP2의 C21, T72의 132 변형만 이용하였고, 시험데이터는 7개의 변형 모두 이용하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 극사상 식별기는 98.53 %의 높은 식별 성능을 보여준다. 특히 BTR70의 C71, BMP2의 C21, T72의 S7의 경우에는 100 %의 식별 성능을 보여준다. 표 2는 동일한 표적을 이용한 다양한 식별기의 성능을 보여준다<sup>[7]</sup>. 표에서 보는 바와 같이 SAR ATR 분야에서 기존에 제시된 다양한 식별기의 성능보다 높은 식별 성능을 보여주고 있다.

4 종류의 표적에 대해 각각 1개의 변형만 훈련데이터로 이용하여 식별 실험을 수행하였다. 표 3은 BTR70, BMP2, T72에 BRDM2 표적을 추가하여 4 종류 표적의 8가지 변형에 대한 표적 식별실험의 결과를 보여준다. 한 가지 표적이 추가되었음에도 불구하고 극사상 식별기는 98.35 %로 표 1에 비해 성능 저하가 거의 발생하지 않고 매우 높은 식별 성능을 보여주고 있으며, 내림각의 변화에 대해 정확하게 식별하고 있다.

#### IV. 결 론

제안된 극사상 식별기는 전처리 과정에서 모폴로

지 기법을 이용하여 표적과 표적의 그림자 화소와 클러터 화소를 분리하고, 클러터 화소의 평균을 이용하여 클러터의 영향을 줄였다. 또한, SAR 영상의 차원을 낮추면서 기존의 SAR ATR 분야에서 제시된 식별기들의 성능을 뛰어 넘는 높은 식별 성능을 보여준다. 현재 우리군은 0.3 m의 해상도를 가지는 SAR 영상 레이더를 장착한 무인정찰기를 개발 또는 도입 중에 있다. SAR 영상 레이더의 가장 큰 목적이 지상 군사 표적물(탱크, 곡사포, 장갑차 등) 인식 및 식별에 있기에 본 논문에서 제안된 식별기는 SAR 영상 레이더에 적용할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Dean L. Mensa, *High Resolution Radar Cross-section Imaging*, Norwood, MA, Artech House, 1991.
- [2] Donald R. Wehner, *High-Resolution Radar*, 2nd Edition, Artech House, 1994.
- [3] K. -T. Kim, H. -T. Kim, "One-dimensional scattering center extraction for efficient radar target classification", *IEE Pro.- Radar, Sonar, and Navig.*, vol. 146, pp. 147-159, Jun. 1999.
- [4] J. -I. Park, K. -T. Kim, "A comparative study on ISAR imaging algorithms for radar target identification", *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 108, pp. 155-175, 2010.
- [5] L. Novak, G. Owirka, and C. Netishen, "Performan-

ce of a high-resolution polarimetric SAR automatic target recognition system", *Lincoln Laboratory Journal*, pp. 11-24, 1993.

[6] J. A. O'Sullivan, M. D. DeVore, V. Kedia, and M. I. Miller, "SAR ATR performance using a conditionally Gaussian model", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 37, no. 1, pp. 91-118, May 2001.

[7] Y. Sun, Z. Liu, S. Todorovic, and J. Li, "Adaptive boosting for SAR automatic target recognition", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Sys-*

*tems*, vol. 43, no. 1, pp. 112-125. 2007.

[8] K. -T. Kim, D. -K. Seo, and H. -T. Kim, "Efficient classification of ISAR images", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, no. 5, pp. 1611-1621, May 2005.

[9] J. Yang, J. Y. Yang, "From image vector to matrix: a straightforward image projection technique. IMP-CA vs. PCA", *Pattern Recognition*, vol. 35, no. 9, pp. 1997-1999, 2002.

[10] E. O. Brigham, *The Fast Fourier Transform*, Prentice-Hall, 1974.

## 박 중 일



2002년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)  
 2005년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2011년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2011년 5월: 포항공과대학교 미래정보기술사업단 연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 영상, 레이더 표적 탐지 및 식별, 패턴인식

## 김 경 태



1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)  
 1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)  
 1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)  
 2002년 3월~2011년 2월: 영남대학교 전자공학과 교수

2011년 3월: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수  
 [주 관심분야] 레이더 표적 식별, 레이더 영상, 레이더 신호 처리, 패턴 인식, 전자기 수치 해석 및 RCS 측정 등