



모노스테틱/바이스테틱 ISAR 영상 융합을 통한 표적식별 연구

차상빈*¹, 윤세원*², 황석현*³, 김민**⁴, 정주호***⁵, 임진환****⁶, 박상홍*****⁷

Radar Target Recognition Using a Fusion of Monostatic/Bistatic ISAR Images

Sang-Bin Cha*¹, Se-Won Yoon*², Seok-Hyun Hwang*³, Min-Kim**⁴, Joo-Ho Jung***⁵,
 Jin-Hwan Lim****⁶, and Sang-Hong Park*****⁷

“이 논문은 2018학년도 부경대학교 연구년 교수 지원사업에 의하여 연구되었음.”

요약

역합성 개구 레이더(Inverse Synthetic Aperture Radar:ISAR) 영상은 표적의 2차원 RCS(Radar Cross Section) 분포를 나타낸다. 레이더의 LOS(Line Of Sight) 방향으로 진행되는 표적에 대해 바이스테틱 ISAR는 영상의 수직 해상도를 얻을 수 없는 모노스테틱 ISAR의 약점을 보완할 수 있다. 그러나 바이스테틱 ISAR는 모노스테틱 ISAR 비해 긴 처리 시간과 다양한 산란 메커니즘을 가지고 있기 때문에, 바이스테틱 ISAR 영상만을 이용한 표적식별은 비효율적일 수 있다. 이에 본 논문에서는 레이더의 LOS 방향으로 진행되는 표적의 모노스테틱, 바이스테틱 ISAR 영상을 이용하여 표적 식별 성능을 분석하고, 두 레이더의 융합을 통한 표적식별 방법을 제시한다. 시뮬레이션 결과, 융합을 통한 식별 성능이 모노스테틱, 바이스테틱 ISAR 영상만을 이용한 식별 성능보다 더 효율적임을 확인할 수 있었다.

Abstract

Inverse Synthetic Aperture Radar(ISAR) image is 2-dimensional radar cross section distributions of a target. For target approaching along radar's line of sight(LOS), the bistatic ISAR can compensate for the weakness of the monostatic ISAR which can not obtain the vertical resolution of the image. However, bistatic ISAR have longer processing times and variability in scattering mechanisms than monostatic ISAR, so target identification using only bistatic ISAR images can be inefficient. Therefore, this paper analyzes target identification performance using monostatic and bistatic ISAR images of targets approaching along radar's LOS and proposes a method of target identification through fusion of two radars. Simulation results demonstrate that identification performance through fusion is more efficient than identification performance using only monostatic, bistatic ISAR images.

Keywords

monostatic ISAR, bistatic ISAR, target identification, line of sight

* 부경대학교 전자공학과 석사과정

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0001-7515-0650>

- ORCID²: <https://orcid.org/00000003-0514-708X>

- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0002-3582-8591>

** 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7520-3513>

*** 카이스트 무인 기술 연구 센터 연구교수

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7087-8079>

**** 광운대학교 환경공학과 공학박사

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0410-1066>

***** 부경대학교 전자공학과 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8512-1431>

· Received: Sep. 17, 2018, Revised: Oct. 11, 2018, Accepted: Oct. 14, 2018

· Corresponding Author: Sang-Hong Park

Dept. of Electronic Engineering, Pukyong National University Korea,

Tel.: +82-51-629-6224, Email: radar@pknu.ac.kr

1. 서론

역합성 개구 레이더(ISAR, Inverse Synthetic Aperture Radar) 영상은 표적의 여러 관측 각도에서 수신된 광대역 레이더 신호들에 동기화 처리과정 (Coherent Processing)을 적용하여 형성된 2차원 산란 분포[1]이며, 이러한 ISAR 영상들은 표적의 기하학적인 정보를 내포하기 때문에 비협조적 표적 식별 (NCTR, Non-Cooperative Targer Recognition)에 효율적으로 사용될 수 있다[2].

ISAR 영상을 형성하기 위한 레이더의 경우, 대표적으로 한 대의 레이더가 송·수신기의 역할을 수행하는 모노스테틱(Monostatic) 레이더와 두 대의 레이더가 각각 송·수신기 역할을 수행하는 바이스테틱(Bistatic) 레이더가 있다. 모노스테틱 레이더의 경우, 한 대의 레이더로 송·수신하는 장점이 있는 반면에 표적이 레이더의 LOS(Line Of Sight) 방향으로 진행할 때 ISAR 영상의 수직거리(cross-range) 방향으로 충분한 해상도를 얻을 수가 없다는 단점이 존재한다. 그 결과, 모노스테틱 레이더를 이용한 NCTR의 경우, 식별 성능은 제한적인 수직거리 방향 해상도에 매우 의존적으로 나타난다. 하지만, 바이스테틱 레이더의 경우, 표적이 송·수신 레이더 중 어느 한 쪽의 LOS 방향으로 진행하더라도 수직거리 방향으로 충분한 해상도를 얻을 수 있다[3]. 따라서 바이스테틱 레이더를 통해 기존 모노스테틱 레이더의 단점을 해결 할 수 있으며, 그로 인해 ISAR 영상을 이용한 NCTR이 수행 가능하다. 그러나 바이스테틱 레이더는 모노스테틱 레이더에 비해 긴 처리시간과 기하구조에 따라 산란 메커니즘이 다양하게 변하고, 이로 인한 고유 왜곡 때문에 바이스테틱 ISAR 영상만을 이용한 NCTR 수행이 비효율적이다.

최근 모노스테틱 및 바이스테틱 레이더를 이용한 NCTR 연구가 다양하게 진행되어 왔다. 하지만, LOS 방향으로 진행하는 표적의 ISAR 영상을 이용한 NCTR 연구는 현재까지 미비한 실정이다. 따라서 보다 안정적인 표적 식별을 위해서는 LOS 방향으로 진행하는 표적에 대한 ISAR 영상 기반의 NCTR 연구가 필요하다.

본 논문에서는 모노스테틱 및 바이스테틱 레이더

를 기반으로 LOS 방향으로 진행하는 표적의 ISAR 영상을 각각 획득한 후, 극사상 변환[4]을 이용한 특성 벡터 추출 및 NN(Nearst Neighbor) 구분기를 이용하여 표적 식별 성능을 비교 및 분석하고, 또한 식별성능의 효율성을 위하여, 모노스테틱, 바이스테틱 ISAR 융합을 통한 표적식별 방법을 제시한다. 이를 위하여, 점 산란원으로 구성된 서로 다른 종류의 4대 표적들을 사용하였으며, 보다 효과적인 NCTR를 수행하기 위하여 기동 시나리오를 기반으로 훈련 및 시험 데이터베이스를 구축하였다[5].

II. 기본 이론

2.1 모노스테틱 ISAR 신호 모델

모노스테틱 ISAR 영상을 형성하기 위한 기하 구조는 그림 1과 같다[6]. (x_k, y_k) 에 위치한 산란점으로부터 수신된 신호는 시간-주파수 영역에서 다음과 같이 표현 될 수 있다. 여기서 $k(k = 1, 2, \dots, K)$ 는 산란점의 개수 이다.

$$s(f, t) = \sum_{k=1}^K A_k \cdot W(f, t) \cdot \exp[-j\varphi(x_k, y_k, t)] \quad (1)$$

$$W(f, t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_{\text{obs}}}\right) \text{rect}\left(\frac{f - f_0}{B}\right)$$

위 식 (1)에서 A_k 는 표적의 RCS, $\varphi(\cdot)$ 는 위상, f_0 는 중심주파수, B 는 대역폭, T_{obs} 는 관측시간, $\text{rect}(\cdot)$ 는 사각함수이다. 작은 각도 근사 및 작은 대역폭 근사에 근거하여 위상은 다음과 같이 근사화 될 수 있다.

$$\varphi(x_k, y_k, t) = \frac{4\pi f}{c} [R(t) + x_k - y_k \theta(t)] \quad (2)$$

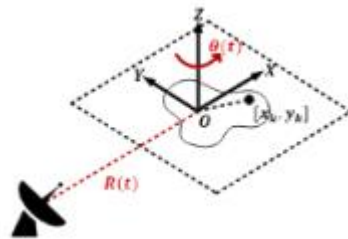


그림 1. 모노스테틱 ISAR 영상의 기하구조
Fig. 1. Geometry of the Monostatic ISAR image

식 (2)에서 $\theta(t)$ 는 Z축을 중심으로 회전한 표적의 회전 각도, c 는 빛의 속도, $R(t)$ 는 레이더와 표적 사이의 거리를 나타낸다. 거리정보 $R(t)$ 와 회전정보 $\theta(t)$ 는 다음 식 (3)과 (4)와 같이 각각 표현될 수 있다.

$$R(t) = R_0 + vt + \frac{1}{2!}v^2t^2 + \dots \quad (3)$$

$$\theta(t) = \theta_0 + \Omega t + \frac{1}{2!}\Omega^2t^2 + \dots \quad (4)$$

여기서 R_0 , θ_0 는 표적과 레이더 사이의 초기 거리 및 각도, v , Ω 는 표적의 속도 및 각속도를 나타낸다.

RP(Range Profile)는 수신된 신호를 거리 방향 축으로 역 푸리에 변환을 통해서 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} S_r(\tau, t) &= \int_{-\infty}^{\infty} s(f, t) \exp(j2\pi f\tau) df \quad (5) \\ &= AB \cdot \text{sinc}B \left(\tau - \frac{2}{c} [R(t) + x_k - y_k\theta(t)] \exp(j2\pi f_0\tau) \right) \\ &\quad \cdot \text{rect} \left(\frac{t}{T_{obs}} \right) \cdot \exp \left[-j \frac{4\pi f_0}{c} (R(t) + x_k - y_k\theta(t)) \right] \end{aligned}$$

여기서 τ 는 fast-time으로 정의한다. 식 (5)에 거리 정렬[7]을 수행하여 $R(t)$ 성분을, 위상보정을 통해 $\exp \left[-j \frac{4\pi f_0}{c} R(t) \right]$ 성분이 제거되면 최종적인 모노스태틱 ISAR 영상을 주파수방향 축으로 푸리에 변환을 통해서 얻을 수 있다.

$$I_M(\tau, \nu, x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} S_r(\tau, t) \exp(-j2\pi t\nu) dt \quad (6)$$

여기서 ν 는 slow-time을 나타낸다.

2.2 바이스태틱 ISAR 신호 모델

바이스태틱 ISAR 영상을 형성하기 위한 기하구조는 그림 2와 같다[8]. 그림 내 β 는 송신기 및 수신기와 표적이 이루는 각도를 나타낸다.

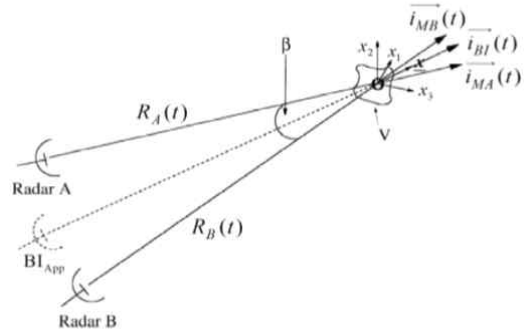


그림 2. 바이스태틱 ISAR 영상의 기하구조
Fig. 2. Geometry of the Bistatic ISAR image

바이스태틱 기하구조로부터 획득할 수 있는 표적에 대한 수신 신호는 시간-주파수 영역에서 다음과 같이 표현 될 수 있다. 여기서 $k(k=1,2,\dots,K)$ 는 표적을 구성하는 산란점의 개수 이다.

$$\begin{aligned} s(f, t) &= \sum_{k=1}^K A_k \cdot W(f, t) \cdot \exp[-j\varphi(\underline{x}_k, t)] \quad (7) \\ W(f, t) &= \text{rect} \left(\frac{t}{T_{obs}} \right) \text{rect} \left(\frac{f - f_0}{B} \right) \end{aligned}$$

위 식 (1)에서 A_k 는 표적의 RCS, $\varphi(\cdot)$ 는 위상, \underline{x}_k 는 (x_1, x_2, x_3) 좌표계를 기준으로 하는 표적내 산란점들의 위치벡터, f_0 는 중심주파수, B 는 대역폭, T_{obs} 는 관측시간, $\text{rect}(\cdot)$ 는 사각함수이다. 여기서 위상함수는 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{aligned} \varphi_{BI}(\underline{x}, t) &= \frac{(\varphi_{MA}(\underline{x}, t) + \varphi_{MB}(\underline{x}, t))}{2} \quad (8) \\ &= \frac{4\pi f}{c} [R(t) + K(t)\underline{x} \cdot \vec{i}_{BI}(t)] \end{aligned}$$

여기서 $\varphi_{MA}(\underline{x}, t)$ 는 레이더 A가 모노스태틱 기하구조 내 수신하는 신호의 위상함수, $\varphi_{MB}(\underline{x}, t)$ 는 레이더 B가 모노스태틱 기하구조 내 수신하는 신호의 위상 함수를 나타내며 다음 식 (9), (10)과 같이 정의한다.

$$\varphi_{MA}(\underline{x}, t) = \frac{4\pi f}{c} [R_A(t) + \underline{x} \cdot \vec{i}_{MA}(t)] \quad (9)$$

$$\varphi_{MB}(\underline{x}, t) = \frac{4\pi f}{c} [R_B(t) + \underline{x} \cdot \vec{i}_{MB}(t)] \quad (10)$$

위 식에서 \bullet 는 벡터간의 내적 연산자, c 는 빛의 속도, $R_A(t), R_B(t)$ 는 표적과 레이더 A,B 사이의 거리, $\vec{i}_{MA}(t), \vec{i}_{MB}(t)$ 는 레이더 A,B의 LOS 방향의 단위 벡터이다.

식 (8)에서 $K(t) = \left| \frac{\vec{i}_{MA}(t) + \vec{i}_{MB}(t)}{2} \right| = \cos \frac{\beta(t)}{2}$,
 $\vec{i}_{BI}(t) = \frac{\vec{i}_{MA}(t) + \vec{i}_{MB}(t)}{|\vec{i}_{MA}(t) + \vec{i}_{MB}(t)|}$ 는 바이스테틱 레이더의 LOS 방향의 단위벡터, $R(t) = \frac{R_A(t) + R_B(t)}{2}$ 로 표적과 두 레이더 A,B 사이의 거리의 평균을 나타낸다. 거리정렬[6]을 통한 $R(t)$ 성분 제거와 작은 각도 근사 및 작은 대역폭 근사에 근거하여 식 (8)은 다음과 같이 근사화 될 수 있다.

$$\varphi(x_{1k}, x_{2k}, t) \approx \frac{4\pi f}{c} [K(t)(\Omega_k t x_{1k} + x_{2k})] \quad (11)$$

여기서 $K(t)$ 는 테일러 급수 전개를 이용해 1차 다항식의 형태로 근사 할 수 있으며 이는 식 (12)와 같다.

$$K(t) \approx K(0) + K'(0)t \quad (12)$$

$$= \cos \left[\frac{\beta(0)}{2} \right] - \frac{\beta(0)}{2} \sin \left[\frac{\beta(0)}{2} \right] t = K_0 + K_1 t$$

식 (9)를 식 (8)에 이용해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\varphi(x_{1k}, x_{2k}, t) \approx \frac{4\pi f}{c} [(K_0 + K_1 t)\Omega t x_{1k}] \quad (13)$$

$$+ \frac{4\pi f}{c} [(K_0 + K_1 t)x_{2k}]$$

RP는 위상함수 식 (13)을 식 (7)에 대입한 수신 신호에 거리 방향 축으로 역 푸리에 변환을 통해서 얻을 수 있다.

$$S_r(\tau, t) = A \int_{-\infty}^{\infty} s(f, t) \exp(j2\pi f\tau) df \quad (14)$$

$$= A \cdot B \text{sinc} B \left(\tau - \frac{2}{c} [K_0 x_{2k} + \delta r(t)] \right)$$

$$\times \exp(j2\pi f_0 \tau) \cdot \text{rect} \left(\frac{t}{T_{obs}} \right)$$

$$\cdot \exp \left(-j \frac{4\pi f_0}{c} [K_0 + K_1 t] [x_{1k} \Omega t + x_{2k}] \right)$$

최종적인 바이스테틱 ISAR 영상은 주파수방향 축으로 푸리에 변환을 통해서 얻을 수 있다. 여기서 $\delta r(t) = K_0 x_{1k} \Omega t + K_1 x_{2k} t + K_1 x_{10} \Omega^2 t^2$ 성분은 거리 해상도의 절반보다 작을 경우 무시될 수 있고, 이를 무시 한 후, 최종적인 바이스테틱 ISAR 영상은 주파수 축으로 푸리에 변환을 통해 얻을 수 있다.

$$I_B(\tau, \nu, x_1, x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} S_r(\tau, t) \exp(-j2\pi \nu t) dt \quad (15)$$

III. 시뮬레이션 결과

3.1 시뮬레이션 조건

표적 식별에 사용된 학습데이터는 기동 시나리오를 바탕으로 구성된 ISAR 영상 데이터베이스를 사용하였다[4]. 기동 시나리오 기반 훈련 DB 구축을 위해, 송·수신기 위치를 설정하고, 3차원 공간에서의 비행 시작점에서 비행 표적은 일정한 방향 과 일정한 속도로 기동한다. 이때 표적은 ISAR 영상의 세로방향의 해상도가 가로방향의 해상도와 같게 구성되는 관측각도 범위에서 기동한다. 훈련 DB 구축을 위한 조건은 표 1, 레이더의 시뮬레이션 조건은 표 2와 같으며 제기된 조건으로 모노스테틱, 바이스테틱 ISAR 영상 훈련 DB을 구축 하였다. 모노스테틱에 경우 수신기의 위치는 송신기의 위치와 같다.

표 1. 훈련 DB 파라미터

Table 1. Parameters for training database

Transmitter	[0 0 0] km
receiver	[200 0 0] km
Direction	[0 -1 0]
Velocity	200 m/s
Flight Starting Position	
x position	-25, -10, 10, 25 km
y position	80, 90, 100, 110, 120 km
z position	1, 3, 5, 7 km

표 2. 레이더 파라미터

Table 2. Parameter of radar

Center Frequency	10 GHz
Bandwidth	200 MHz
Pulse Repetition Frequency	500 Hz
Pulse width	30μ sec
Number of Pulse	100

본 논문에서는 총 4대의 점산란원으로 구성된 비행표적(F-18, F-14, Su35, Rafal)을 사용하였으며, 훈련 DB를 구성하는 영상의 총 개수는 4(표적의 수) × 80(비행 시작점) = 320개 이다.

시험데이터의 경우, 표적이 레이더의 LOS 방향으로 접근하는 경우를 구성하기 위해, 주어진 3차원 공간상 범위에서 임의로 비행 시작점을 선택 후 x 좌표를 0으로 설정하였고, 표적은 설정된 시작점에서 훈련 DB의 비행 방향에 $-5 \leq \theta \leq 5$ 범위 내의 임의의 어스팩트 앵글로 회전된 진행방향, 200km 속도로 기동하는 표적의 ISAR 영상을 구축하였다. 이때 각각 4대의 표적에 대하여 50개의 시험 영상들을 구성하여 표적식별을 위한 총 200개의 시험 DB를 구성하였다. 시험데이터 시뮬레이션 기하 구조는 그림 3과 같고, $x=0\text{km}$, $y=105\text{km}$, $z=2\text{km}$ 일 때 θ 에 대한 Rafal의 모노스테틱, 바이스테틱 ISAR 영상은 그림 4와 같다.

모노스테틱, 바이스테틱 ISAR 융합을 통한 식별 절차는 그림 5와 같다.

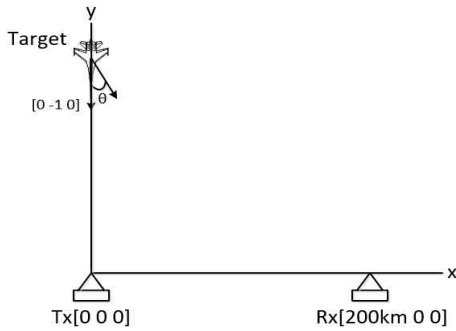
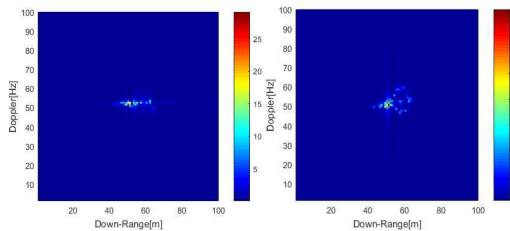
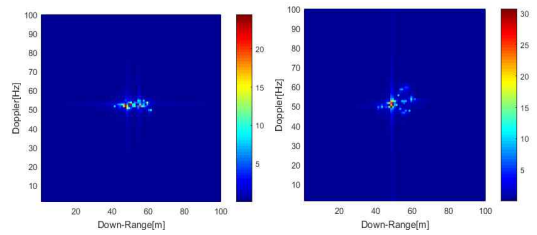


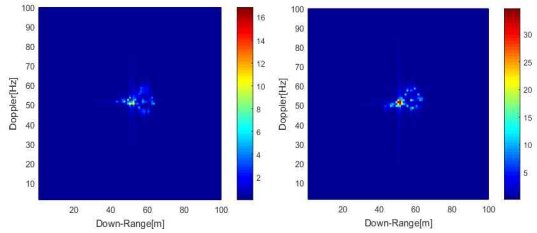
그림 3. 시뮬레이션 기하 구조
Fig. 3. Simulation geometry



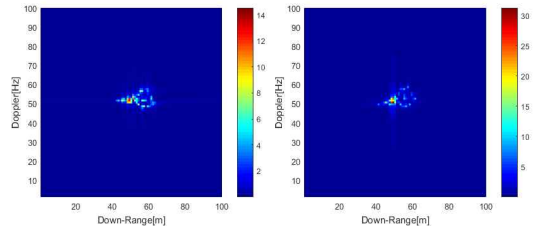
Monostatic ISAR Bistatic ISAR
(a) $\theta = 0^\circ$ 에 대한 표적의 ISAR 영상
(a) ISAR image for $\theta = 0^\circ$



Monostatic ISAR Bistatic ISAR
(b) $\theta = 1^\circ$ 에 대한 표적의 ISAR 영상
(b) ISAR image for $\theta = 1^\circ$



Monostatic ISAR Bistatic ISAR
(c) $\theta = 2^\circ$ 에 대한 표적의 ISAR 영상
(c) ISAR image for $\theta = 2^\circ$



Monostatic ISAR Bistatic ISAR
(d) $\theta = 3^\circ$ 에 대한 표적의 ISAR 영상
(d) ISAR image for $\theta = 3^\circ$

그림 4. θ 에 대한 표적의 모노스테틱, 바이스테틱 ISAR 영상

Fig. 4. Monostatic, Bistatic ISAR image of targets for theta

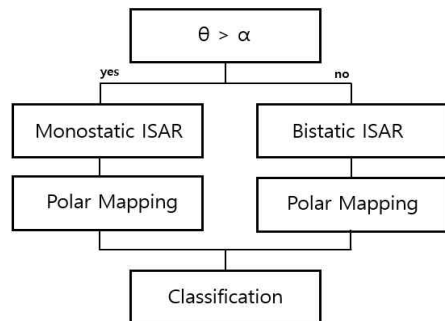


그림 5. 융합을 통한 식별 기법
Fig. 5. Identification method through fusion

우선 표적이 탐지된 후, θ 의 크기에 따라 모노스테틱, 바이스테틱 ISAR 영상을 획득 후, 표적 식별을 수행한다. 여기서 α 는 θ 의 임계값을 나타낸다.

식별을 위해 ISAR 영상의 회전 불변성을 위한 극사상 변환[3]과 극 사상된 영상을 거리, 위상 방향으로 투영시킨 특성벡터[4]를 사용하였으며, 훈련 DB와 시험 DB에 적용 후, NN 구분기를 이용하여 식별하였다. 표적식별 성능은 식 (16)과 같이 전체 시험 데이터 중에서 올바르게 구분한 수의 비율로 정의하였다.

$$P_c = \frac{\text{올바르게 구분한 수}}{\text{전체 시험 데이터 수}} \times 100[\%] \quad (16)$$

3.2 시뮬레이션 결과

그림 6과 7은 SNR=30dB 환경에서 θ 에 대한 구분 결과와 ISAR 영상 처리 시간을 나타낸다.

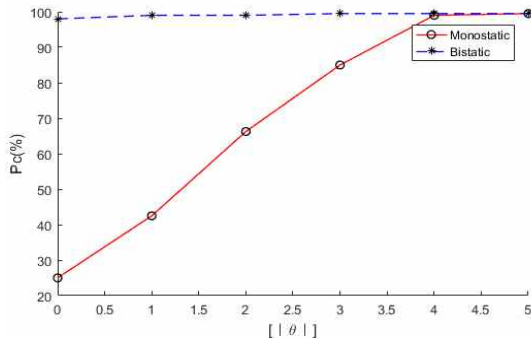


그림 6. θ 에 따른 구분 결과
Fig. 6. P_c for various θ

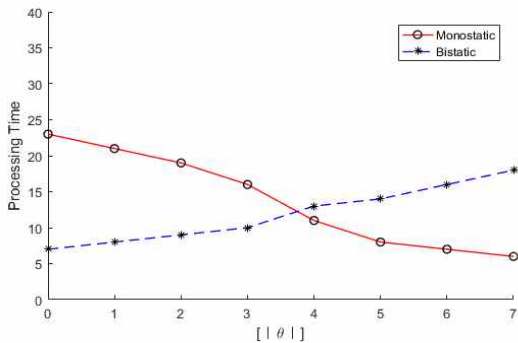
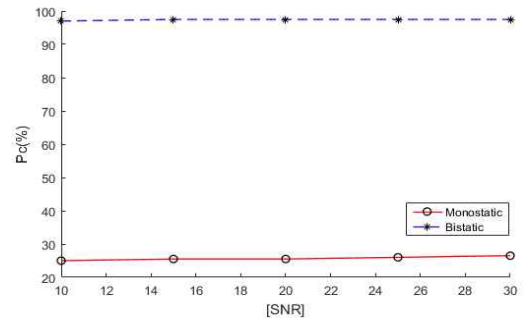
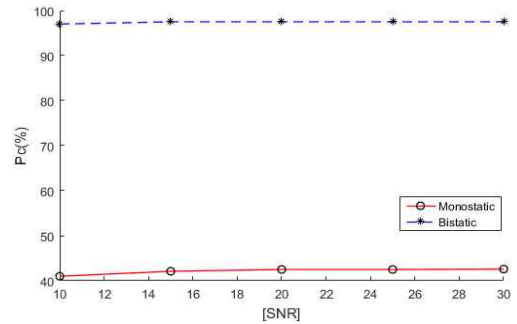


그림 7. θ 에 따른 처리 시간
Fig. 7. Processing time for various θ

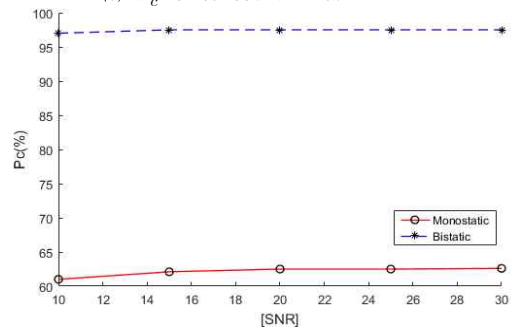
그림 5에서 보는 바와 같이, 모노스테틱 ISAR 영상의 경우 $|\theta|$ 값이 0~2일 경우 cross-range 방향의 해상도를 얻을 수 없어 낮은 표적 식별 능력을 보였으며, $|\theta| > 4$ 이상일 경우부터 cross-range 방향의 해상도를 얻어 올바른 표적의 ISAR 영상으로 인해 96% 이상의 높은 식별 성능을 확인 할 수 있었다. 반면 바이스테틱 ISAR 영상의 경우 θ 의 값과 상관없이 모든 구간에서 96%이상의 식별 성능을 나타냄을 확인 할 수 있었다.



(a) $\theta = 0^\circ$ 에서 SNR에 따른 구분 결과
(a) P_c for various SNR at $\theta = 0^\circ$



(b) $\theta = 1^\circ$ 에서 SNR에 따른 구분 결과
(b) P_c for various SNR at $\theta = 1^\circ$



(c) $\theta = 2^\circ$ 에서 SNR에 따른 구분 결과
(c) P_c for various SNR at $\theta = 2^\circ$
그림 8. SNR에 따른 구분 결과

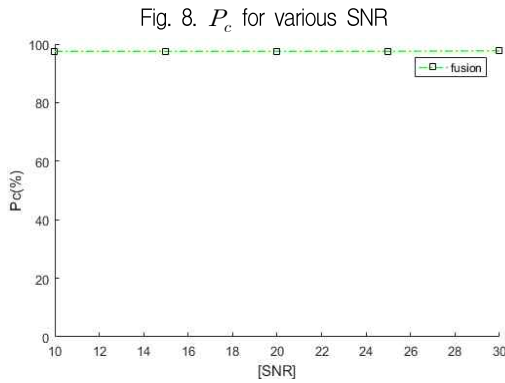


그림 9. SNR에 따른 구분 결과
Fig. 9. P_c for various SNR

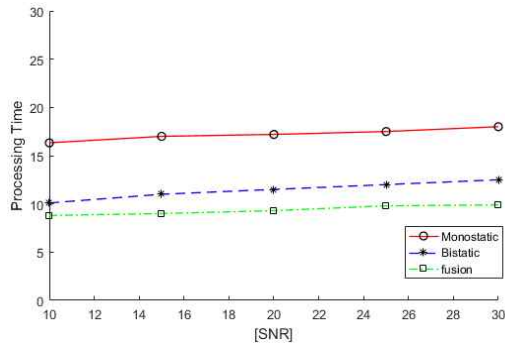


그림 10. SNR에 따른 처리시간
Fig. 10. Processing time for various SNR

그림 8은 $0 \leq \theta \leq 2$ 에서 SNR= 10, 15, 20, 25, 30dB 환경에 대한 구분결과 이다. 그림 6에서 볼 수 있듯이, 바이스테틱 ISAR 영상의 경우 θ 에 대해 상관없이 모든 SNR 환경에서 96% 이상의 높은 식별 능력을 가짐을 확인 할 수 있었다.

그림 9와 10은 모노스테틱, 바이스테틱 ISAR 융합을 통한 표적 식별 성능과 처리 시간 비교를 나타낸다. 그림 8은 $\alpha = 3$ 에서 SNR 에 따른 식별 결과로, 융합으로 인해 θ 의 값과 상관없이 97% 이상의 높은 식별 능력을 가짐을 확인 할 수 있었으며, 처리시간 측면에서도 제시된 융합 과정의 처리 시간이 모노스테틱, 바이스테틱 ISAR 보다 더 나음을 확인 할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 레이더의 LOS 방향으로 기동하는

표적에 대한 모노스테틱, 바이스테틱 ISAR 영상을 획득하고, 이를 이용해 표적 식별 성능을 분석하였으며, 또한 모노스테틱 과 바이스테틱 ISAR 융합을 통한 식별을 제시하였다. 모노스테틱 ISAR의 경우 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위해서는 4° 이상의 어스팩트 앵글이 필요함을 확인 할 수 있었으며, 그 이하에서 식별을 위해서는 바이스테틱 ISAR 영상이 필요함을 알 수 있었다. 바이스테틱 ISAR의 경우 θ 에 상관없이 높은 식별 성능을 보였으며, $\theta > 4$ 이상에서 모노스테틱 ISAR 보다 많은 처리 시간이 필요함을 확인 할 수 있었다. 식별 성능의 효율성을 위해 θ 에 따라 두 ISAR의 융합을 통해 식별 하였으며, 식별 결과 $\theta > 4$ 일 경우 모노스테틱 ISAR, 그 이하는 바이스테틱 ISAR로 식별하는 것이 식별 성능과 처리시간 면에서 더 나음을 확인 할 수 있었다.

본 논문은 간단한 비행 방향만 고려하였으며, 향후 전반적인 비행 방향에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다. 본 저자는 이를 편대비행 표적에 확장시켜 연구를 수행 할 예정이다.

References

- [1] C. Ozdemir, "Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging with MATLAB Algorithm", John Wiley & Sons, Inc, Chapter 8, pp. 299-344, Feb. 2012.
- [2] F. Berizzi and G. Corsini, "Autofocusing of inverse synthetic aperture radar images using contrast optimization", IEEE Trans. Aero. Electro. Sys, Vol. 32, No. 3, pp. 1185-1191, Jul. 1996.
- [3] Seung-Ku Han, Kyung-Tae Kim, and Eun-Jung Yang, "Simulation of Bistatic Inverse Synthetic Aperture Radar Image Generation", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic and Science, Vol. 25, No. 4, pp. 451-458, Apr. 2014.
- [4] In-O choi, Kyung-Tae Kim, Joo-Ho Jung, and Sang-Hong Park, "Efficient Recognition of ISAR images Using 1D Central Moments", The Journal of KIIT, Vol. 14, No. 1, pp. 61-68, Jan. 2016.
- [5] Seung-Jae LEE, Ji-Hoon Bae, Seong-Jae Jeong, Eun-jung Yang, and Kyung-Tae Kim, "Analysis of Target Identification Performances against the

Moving Targets Using a Bistatic Radar", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic and Science, Vol. 27, No. 2, pp. 198-207, Feb. 2016.

- [6] Sang-Bin Cha, Se-Won Yoon, Seok-Hyun Hwang, Min-Seok Kang, Joo-Ho Jung, and Sang-Hong Park, "Aanalysis of Phase Adjustment Techniques for ISAR Imaging Targets in Formation Flight", The Journal of KIIT, Vol. 16, No. 5, pp. 67-74, May 2018.
- [7] Li. Xi, Liu. G., and Ni. J., "Autofocusing of ISAR images based on entropy minimization", IEEE Trans. Aero. Electro. Sys, Vol. 35, No. 4, pp. 1240-1251, Oct. 1999.
- [8] Seung-Jae LEE, Seong-Hyeon Lee, Min-Seok Kang, Eunjung Yang, and Kyung-Tae Kim, "Analysis of Target Identification Performances Using Bistatic ISAR Images", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic and Science, Vol. 27, No. 6, pp. 566-576, Jun. 2016.

저자소개

차 상 빈 (Sang-Bin Cha)



2017년 2월 : 부경대학교
전자공학과(공학사)
2017년 3월 ~ 현재 : 부경대학교
전자공학과(석사과정)
관심분야 : 레이더표적인식, 레이더
영상, 레이더 신호처리

윤 세 원 (Se-Won Yoon)



2017년 2월 : 부경대학교
전자공학과(공학사)
2017년 3월 ~ 현재 : 부경대학교
전자공학과(석사과정)
관심분야 : 레이더표적인식, 레이더
영상, 레이더 신호처리

황 석 현 (Seok-Hyun Hwang)



2017년 2월 : 부경대학교
전자공학과(공학사)
2017년 3월 ~ 현재 : 부경대학교
전자공학과(석사과정)
관심분야 : 레이더표적인식, 레이더
영상, 레이더 신호처리

김 민 (Min-Kim)



2015년 2월 : 부경대학교
전자공학과(공학사)
2017년 2월 : 부경대학교
전자공학과(공학석사)
2018년 9월 ~ 현재 : 포항공과
대학교 전자전기공학과 박사과정
관심분야 : 미세도플러 분석,
레이더 신호처리, 레이더 표적인식, 스펙트럼 추정

정 주 호 (Joo-Ho Jung)



1991년 2월 : 공군사관학교
전자공학과(공학사)
1995년 2월 : 서울대학교
전자공학과(공학사)
1998년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학석사)
2007년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학박사)
2013년 2월 : 고려대학교 경영학과(MBA)
2016년 1월 ~ 현재 : KAIST 무인화기기술연구센터 교수
관심분야 : 풍력단지 EMI/EMC 분석, 포탄 RCS 분석 등

박 상 홍 (Sang-Hong Park)



2004년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학사)
2007년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학석사)
2010년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학박사)
2010년 9월 ~ 현재 : 부경대학교
전자공학과 교수
관심분야 : 미세도플러 분석, 풍력단지 EMI/EMC 분석,
레이더표적인식, 레이더영상, 레이더 신호처리, 등