



모노스태틱, 바이스태틱 HRRP를 이용한 편대비행 대수추정

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

Estimating the Number of the Targets in Formation Flight Using Monostatic/Bistatic HRRP

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

이 논문은 2018학년도 부경대학교 연구년 교수 지원사업에 의하여 연구되었음

요 약

편대비행 표적식별에 있어 편대비행 대수추정은 매우 중요한 과제다. 이에 본 논문에서는 모노스태틱, 바이스태틱 HRRP를 이용하여 편대비행 대수를 추정할 수 있는 알고리즘을 제안한다. RELAX Algorithm을 이용해 단일표적과 다중표적을 구별하고, HRRP를 재구성한다. 이를 이용하여 MUSIC Algorithm 및 CFAR Detector를 이용해 다수표적일 경우 표적마다의 구분된 산란점을 얻는다. 구분된 산란점의 상관관계를 활용해 편대비행 대수를 추정한다. 레이더 시야에서 비행기가 겹쳐진 상황까지 고려하여 알고리즘을 제안했고, LOS 진행방향 표적에 취약한 모노스태틱 레이더의 한계를 극복하기 위해 바이스태틱 레이더와 융합하였다. 시뮬레이션 결과 SNR 변화에도 문제없이 편대비행 대수추정을 할 수 있었다.

Abstract

Estimating the number of the targets in formation flight is a very important task in identifying the target. This paper proposes an algorithm that can estimate the number of formation flight using monostatic and bistatic high resolution range profiles (HRRPs). Using the RELAX Algorithm, single and multiple targets are distinguished and HRRPs are reconstructed. In addition, the MUSIC Algorithm and CFAR detector are applied to obtain distinct scatterers of each target of the multiple targets. In order to overcome the limitations of the monostatic radar vulnerable to targets flying in the line-of-sight direction, the data from the bistatic radar were fused so the number of targets were successfully estimated regardless of the signal-to-noise ratio variation.

Keywords

HRRP, RELAX, MUSIC, formation flight

* 부경대학교 전자공학과 석사과정

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-3582-8591>

- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0001-7515-0650>

- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0003-0514-708X>

** 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: Nov. 15, 2018, Revised: Feb. 22, 2019, Accepted: Feb. 25, 2019

• Corresponding Author: Sang-Hong Park

Dept. of Electronic Engineering, Pukyong National University Korea,

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

1. 서론

레이더를 이용한 표적식별에 사용되는 가장 기본적인 신호로 HRRP(High Resolution Range Profile)이 있다. HRRP는 레이더 LOS(Line of Sight)방향에서의 표적의 일차원 분포도이다. 편대비행 표적에 대한 HRRP 영상은 단일표적의 HRRP 영상이 겹쳐진 형태로 나타나게 된다. 레이더 LOS방향과 완전히 수직인 배치일 때 한대와 유사한 HRRP 영상이 나오게 되고, 이를 해결하게 위해서 한 대의 송/수신기만을 사용한 모노스테틱(Monostatic) 레이더와 두 대의 송/수신기를 사용한 바이스테틱(Bistatic) 레이더를 사용할 수 있다[1][2].

대부분 HRRP를 이용한 표적식별의 경우, 단일 표적에 대한 연구가 대부분이다. 하지만 일반적인 경우 표적은 편대비행하며, 이 경우 단일 표적의 레이더 영상들이 겹쳐진 형태로 생성된다. 미리 학습된 데이터로 이를 식별하기 위해 표적들의 종류, 표적들의 수, 표적간의 거리, 표적들과 레이더 사이의 각도 등 모든 정보를 고려한 학습 데이터를 구축하는 것은 매우 방대한 양의 학습데이터를 요구하고 현실적으로 이는 불가능하다. 따라서 편대비행 표적 식별은 단일 표적에 대한 영상을 합성하거나 혹은 다중 표적에 대한 영상에서 단일표적 영상으로 분리해 다중표적에 대한 식별을 하게 된다. 다중표적 식별은 단순 단일표적에 대한 식별과 달리 많은 시간이 걸리고 또한 데이터양이 방대하여 구분 성능이 저하될 수 있다. 따라서 다중표적의 대수를 추정하여 계산 시간을 절약하고 구분 성능을 개선하는 기법들의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 대표적인 스펙트럼 추정 기법인 RELAX(Relaxation) 알고리즘 및 MUSIC(Multiple Signal Classification)을 이용한 효과적인 표적의 대수 추정을 위한 알고리즘을 제안한다. 제안된 기법은 Relax 알고리즘을 이용하여 단일 표적과 다중 표적으로 구분한 후, MUSIC 알고리즘 및 CFAR(Constant False Alarm Rate) Detector를 이용하여 영상의 피크 값을 찾는다. 이를 이용하여 최종적으로 수신된 신호끼리의 자기상관을 통해 표적의 대수를 추정한다. 점 산란원으로 구성된 서로 다른 종류의

5대 표적들을 사용한 시뮬레이션 결과, 100%에 가까운 대수 추정이 가능하였다.

II. 기본 이론

2.1 바이스테틱 HRRP 신호 모델

바이스테틱 HRRP 영상 기하구조는 다음과 같다. 그림 내 β 는 송신기 및 수신기와 표적이 이루는 각도를 나타낸다[3][4].

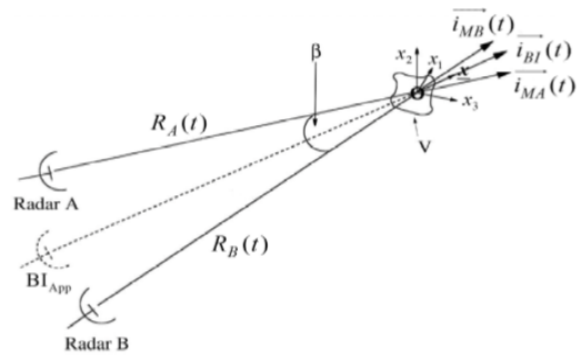


그림 1. 바이스테틱 기하구조

Fig 1. Bistatic geometry

바이스테틱 기하구조로부터 수신 신호는 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$S_R(f,t) = W(f,t) \int_V \rho(\underline{x}) \exp[-j\varphi(\underline{x},f,t)] d\underline{x} \quad (1)$$

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

식 (1)에서 $\rho(\underline{x})$ 는 반사된 신호의 함수, $\varphi(\cdot)$ 는 위상, \underline{x} 는 (x_1, x_2, x_3) 좌표계를 기준으로 하는 표적 내 산란점들의 위치벡터, f_0 는 중심주파수, B 는 대역폭, T_{obs} 는 관측시간, $\text{rect}(\cdot)$ 는 사각함수이다. 여기서 위상함수는 다음과 같이 정의된다.

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

여기서 $\varphi_{MA}(\underline{x},t)$ 는 레이더 A가 모노스테틱 기하구조 내 수신하는 신호의 위상함수, $\varphi_{MB}(\underline{x},t)$ 는 레이

더 B가 모노스태틱 기하구조 내 수신하는 신호의 위상 함수를 나타내며 다음 식 (3), (4)와 같이 정의한다.

$$\varphi_{MA}(\underline{x}, t) = \frac{4\pi f}{c} [R_A(t) + \underline{x} \cdot \vec{i}_{MA}(t)] \quad (3)$$

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

위 식에서 \cdot 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 (2)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 바이스태틱 레이더의 LOS 방향의 단위벡터, $R(t) = \frac{R_A(t) + R_B(t)}{2}$ 다.

요동보상을 통한 $R(t)$ 성분 제거와 이상적인 점 산란원을 가정하면 식 (2)는 다음과 같이 근사화될 수 있다.

$$\begin{aligned} \varphi_{BI}(x_{10}, x_{20}, x_{30}, f, t) &= \varphi_{BI}(x_{10}, x_{20}, f, t) \\ &= \frac{4\pi f}{c} [K(t)(x_{10} \sin \Omega t + x_{20} \cos \Omega t)] \end{aligned} \quad (5)$$

x_{10}, x_{20}, x_{30} 은 \underline{x} 의 좌표, Ω 는 f 에 대응하는 각주 파수이다. 여기서 $K(t)$ 는 테일러 급수 전개를 이용해 1차 다항식의 형태로 근사 할 수 있으며 이는 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} K(t) &\approx K(0) + \dot{K}(0)t \\ &= \cos \left[\frac{\beta(0)}{2} \right] - \frac{\dot{\beta}(0)}{2} \sin \left[\frac{\beta(0)}{2} \right] t = K_0 + K_1 t \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)을 식 (5)에 이용해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \varphi_{BI}(x_{10}, x_{20}, t) &\approx \frac{4\pi f}{c} [(K_0 + K_1 t) \Omega x_{10}] \\ &\quad + \frac{4\pi f}{c} [(K_0 + K_1 t) x_{20}] \end{aligned} \quad (7)$$

HRRP는 위상함수 식 (7)을 식 (1)에 대입한 수신 신호에 거리 방향 축으로 역 푸리에 변환을 통해서 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} S_R'(\tau, t) &= A \int_{-\infty}^{\infty} W(f, t) \exp[(-j\phi(x_{10}, x_{20}, f, t)) + j2\pi f \tau] df \\ &= AB \text{sinc} B \left(\tau - \frac{2}{c} [K_0 x_{20} + \delta r(t)] \right) \times \exp(j2\pi f_0 \tau) \\ &\quad \times \text{rect} \left(\frac{t}{T_{obs}} \right) \exp \left(-j \frac{4\pi f_0}{c} [K_0 + K_1 t] [x_{10} \Omega t + x_{20}] \right) \end{aligned} \quad (8)$$

2.2 RELAX

RELAX는 신호의 극점을 예측하는 기법인 CLEAN 기법의 한 종류이다[5]. CLEAN 기법은 가장높은 에너지의 산란점부터 순서대로 원하는 개수의 산란점 정보를 추출하는 기법이다. RELAX는 CLEAN 기법을 반복적으로 수행하도록 변경하여 보다 정확한 극점의 위치와 극값을 얻는 기법이다. 원 신호 y 를 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} y &= \sum_{i=1}^K a_i w(f_i) \\ w(f_i) &= [1 e^{j2\pi f_k} \dots e^{j2\pi(N-1)f_k}]^T \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 a 는 진폭, f 는 극점의 위치, N 은 신호의 길이이다. K 의 개수 a 와 f 는 아래 비용 함수를 최소화 하는 값이 되어야 한다.

$$C_3(f_1, a_1, \dots, f_K, a_K) = \| y - \sum_{k=1}^K w(f_k) a_k \|^2 \quad (10)$$

원 신호에서 한 개의 PSF(Point Spread Function)를 뺀 y_k 을 다음과 같이 정의한다.

$$y_k = y - \sum_{i=1, i \neq k}^K \hat{a}_i w(\hat{f}_i) \quad (11)$$

나머지 계수들은 주어졌다고 가정하면 식 (10)의 비용함수를 최소화하는 계수들은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}\hat{a}_k &= \frac{w^H(f_k)y_k}{N} \Big|_{f_k=\hat{f}_k} \\ \hat{f}_k &= \operatorname{argmax}_{f_k} |w^H(f_k)y_k|^2\end{aligned}\quad (12)$$

계수들을 구하는 방법은 다음과 같다.

step 1 : K=1로 놓고, \hat{f}_1 과 \hat{a}_1 을 y 로부터 얻는다.

step 2 : K=2로 놓고, \hat{f}_1 과 \hat{a}_1 을 식 (11)에 넣고 y_2 를 계산하고, \hat{f}_2 과 \hat{a}_2 을 얻는다.

이렇게 얻은 \hat{f}_2 과 \hat{a}_2 을 다시 식 (11)에 넣어 \hat{f}_1 과 \hat{a}_1 을 재계산한다.

이후 위의 과정을 원하는 K값이 될 때까지 반복한다.

RELAX 기법을 통해 수신된 편대비행 표적 HRRP에 대한 대략적인 길이를 알 수 있고 신호대 잡음비(SNR, Signal to Noise Ratio)의 변화에 강한 데이터를 얻을 수 있다.

2.3 MUSIC

MUSIC 알고리즘은 신호 및 잡음의 수직 관계를 이용하여 고해상도 HRRP를 얻는 알고리즘이며, 레이다 신호의 상관행렬을 사용한다[6][7]. 레이다 신호를 벡터로 표현한 식 y 에 대하여, 상관행렬은 다음과 같다.

$$R_{yy} = \epsilon[yy^H], \quad (13)$$

위 식에서 $\epsilon[\cdot]$ 는 Ensemble average다.

R_{yy} 를 Eigenvalue Decomposition 후, Eigenvalue가 작은 Eigenvector는 잡음공간의 기저함수이며, 이를 이용하여 잡음공간 기저함수로 구성된 행렬 E 를 정의할 수 있다. 또한 레이다 신호를 이용하여 공간에서의 방향벡터(Direction Vector) $a(x,y)$ 를 구성할 수 있으며, 최종적으로 다음 식과 같이 신호의 방향 벡터(신호공간) 및 E (=잡음공간)의 직교성을 이용하여 신호가 존재하는 지점의 값을 극대화 할 수 있다.

$$P_{MUSIC}(x,y) = \frac{a(x,y)^H a(x,y)}{a(x,y)^H E E^H a(x,y)} \quad (14)$$

식 (14)의 피크점은 받은 신호의 산란점들의 위치를 나타낸다. MUSIC 알고리즘을 적용시켜 자기상관 결과 피크 개수를 더 명확하게 확인한다.

2.4 CFAR Detector

CFAR 탐지기는 문턱 값을 오경보율의 함수로 나타냄으로 인해 잡음의 정상상태가 보장되지 않는 경우에 일정한 오경보율을 유지할 수 있도록 검출 문턱 값을 적응적으로 결정한다[8].

$$T = \alpha P_n \quad (15)$$

T 는 문턱 값, α 는 크기 계수, P_n 은 잡음 측정 값이다[4]. 식 (15)의 문턱 값 이상만의 값을 표적으로 인식해, 잡음 상황에서도 명확한 피크를 얻는다.

2.5 대수추정 알고리즘

그림 2는 본 논문에서 제안하는 알고리즘이다, 우선 정합필터링(Matched-Filtering) 및 역푸리에변환(Inverse Fourier Transform)을 이용하여 편대비행 표적의 HRRP를 획득한다. 모노스테틱 레이다만 사용할 경우 LOS 진행방향 표적에 대한 명확한 편대비행 표적 HRRP를 얻기 힘들다는 한계점을 극복하기 위해 바이스테틱 HRRP를 같이 형성한다. 또, 모노스테틱, 바이스테틱의 공간적 분리성을 이용해 편대비행 표적의 HRRP의 확보도 용이하다. 이 후, RELAX 알고리즘을 이용하여 HRRP의 해상도를 증대시킨다. 이후 추가적으로 MUSIC 알고리즘 및 CFAR Detector를 적용하여 잡음의 영향을 최소화한다.

마찬가지로 단일 표적도 동일한 과정을 거쳐 MUSIC HRRP를 형성한 후, 편대비행 표적의 HRRP와 단일표적 HRRP간의 자기상관을 구한다. 자기상관 결과 표적이 존재하는 지점이 다른 지점에 비하여 큰 값이 나타나므로, 피크 값의 개수에 따라서 대략적인 표적의 대수 후보군(예) N_1, N_2, N_3 를 추정할 수 있다.

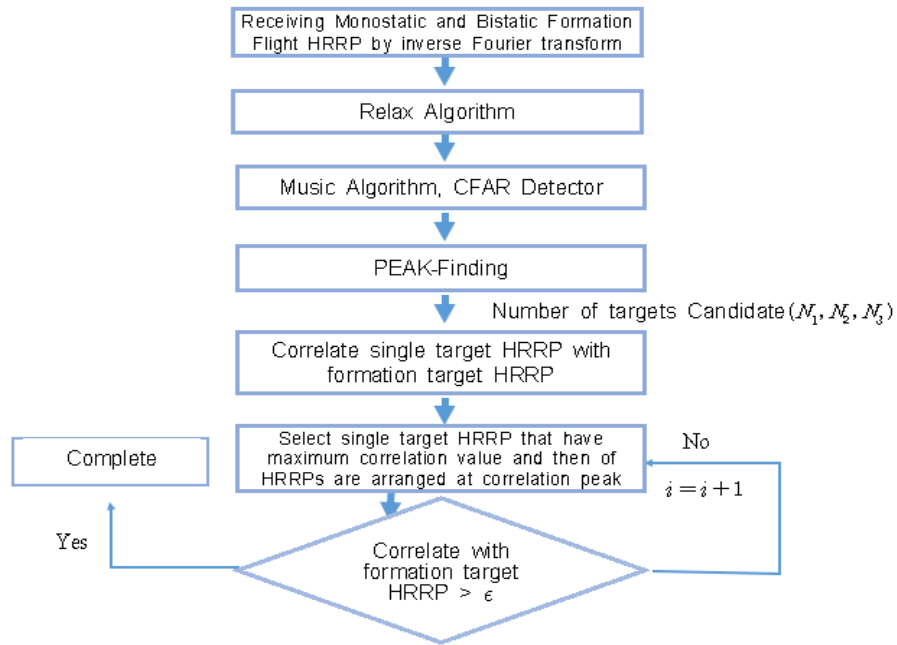


그림 2. 대수추정 알고리즘
Fig. 2. Algorithm to estimate number of targets

이후 각 표적의 대수 후보에 따라 그에 따른 가장 큰 피크 위치를 찾을 수 있으며, 이 위치에 단일 표적의 HRRP를 배치하여 다중표적 HRRP를 구성할 수 있다. 최종적으로 수신된 다중표적의 HRRP와 P 피크를 이용하여 구성된 HRRP의 상호상관관계를 통해 편대비행 표적대수를 추정할 수 있다. 즉, 한 대수 후보에 의해서 구성된 HRRP와의 상호상관 결과값이 지정된 임계값(ϵ) 이하로 나올 경우, 이는 표적의 대수가 다르다는 것을 의미하므로, PEAK-Finding 결과에 저장된 후보로 재 수행해 확실한 편대비행 대수추정이 가능하다.

III. 시뮬레이션 결과

3.1 시뮬레이션 조건

표적 식별에 사용된 학습데이터는 기동 시나리오를 바탕으로 구성된 단일표적 HRRP 영상 데이터베이스를 사용하였다[9]. 기동 시나리오 기반 훈련 DB 구축을 위해, 송·수신기 위치를 설정하고, 3차원 공간에서의 비행 시작점에서 비행 표적은 일정한 방향과 일정한 속도로 기동하였다. 훈련 DB 구축을 위한 조건은 표 1, 레이더의 시뮬레이션 조건

은 표 2와 같으며 다음 조건으로 모노스테틱, 바이스테틱 HRRP 영상 훈련 DB를 구축 하였다. 모노스테틱에 경우 수신기의 위치는 송신기의 위치와 같다.

본 논문에서는 총 4종류의 점산란원으로 구성된 비행표적(F-18, F-14, Su35, Rafal)을 사용하였으며, 각 시나리오마다 10개의 HRRP를 얻었다. 훈련 DB를 구성하는 영상의 총 개수는 2(모노스테틱, 바이스테틱) \times 4(표적의 종류) \times 16(비행 시작점) \times 10(시나리오 별 갯수)=1280개다.

표 1. 훈련 DB 파라미터

Table 1. Parameters for DB

Radar Coordinate	Transmitter	[20 0 0] km
	Receiver	[-20 0 0] km
Flying Direction	[-1 -1 0]	
Flying velocity	300 m/s	
Start Point : x	-15, -5, 5, 15 km	
Start Point : y	30 km	
Start Point : z	1, 3, 5, 7 km	

표 2. 레이더 파라미터

Table 2. Parameter of radar

Center Frequency	10 GHz
Bandwidth	200 MHz
width of pulse	30 μ sec

테스트 DB는 1~5대 대수를 갖는 편대비행 표적이다. 편대비행 시 각 표적간의 거리는 10m다. 레이다 파라미터, 비행 방향, 비행 속도, 비행 시작점은 훈련 DB와 동일하다. 훈련 DB를 구성하는 영상의 총 개수는 $2(\text{모노스테틱, 바이스테틱}) \times 4(\text{표적의 종류}) \times 16(\text{비행 시작점}) \times 10(\text{시나리오 별 갯수}) \times 5(\text{편대비행 표적의 대수}) = 6400$ 개다.

3.2 시뮬레이션 결과

그림 3은 정합필터링 및 역푸리에변환을 통하여 형성된 편대비행하는 5대 F-18의 HRRP이다. 그림에서 보는 바와 같이, 인접한 산란원들의 간섭으로 인하여 HRRP 주변으로 잡음이 많이 존재함을 알 수 있다. 이 HRRP에 RELAX 알고리즘을 적용할 경우, 그림 4와 같이 잡음이 저하된 새로운 HRRP를 형성

할 수 있었다. 하지만 역푸리에변환 HRRP와 유사하게 표적의 산란점들이 명확히 구분되지 않으므로, 매우 많은 수의 산란점들이 형성되었으며, 이러한 산란점들이 서로 영향을 주어서 표적 대수를 추출하는데 많은 방해가 됨을 알 수 있다. MUSIC 알고리즘을 적용할 경우, 표적의 주 산란점만 추출되기 때문에 그림 5와 같이 수 개의 적절히 분리된 산란점으로 구성된 HRRP를 얻을 수 있었다.

적절히 분리된 산란점을 얻고, 훈련 DB와의 상호상관관계를 통해 그림 7의 단일표적 HRRP를 얻는다. 이 단일표적 HRRP를 테스트 DB와의 상호상관을 통해 구해진 피크에 재배치하면 그림 8이 된다. 그림 8과 테스트 DB의 상호상관 결과는 그림 9과 같다. 표적의 대수가 정확하게 추정되었으므로, 상호상관 값이 높은 것을 볼 수 있다.

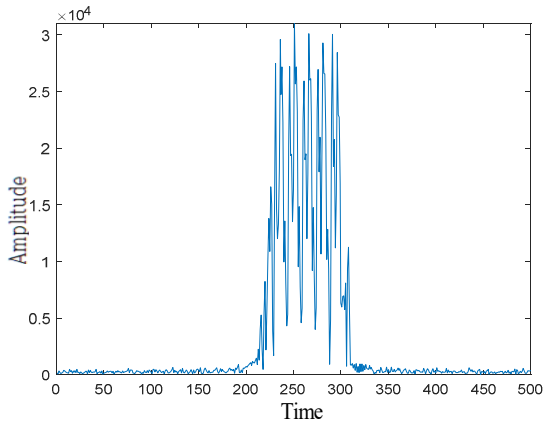


그림 3. F-18 5기의 HRRP
Fig. 3. HRRP of five F-18s

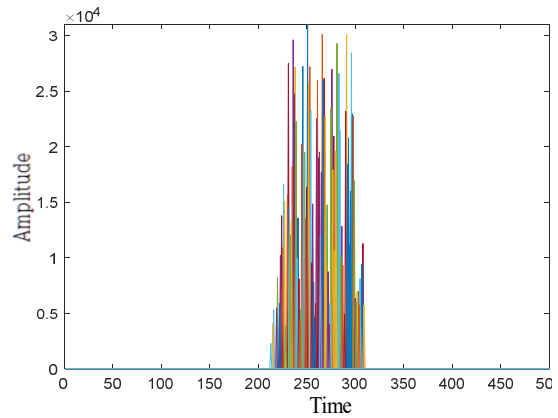


그림 4. RELAX 결과 값
Fig. 4. RELAX result

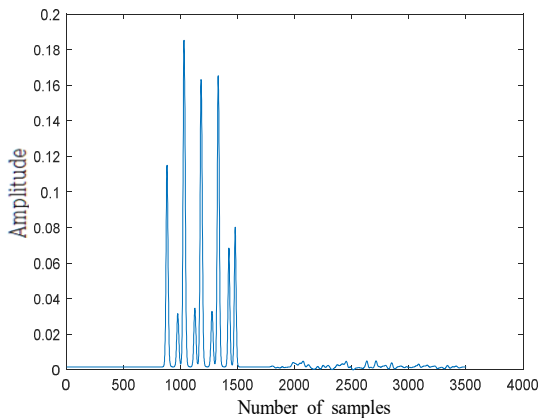


그림 5. MUSIC 및 CFAR 결과 값
Fig. 5. MUSIC and CFAR result

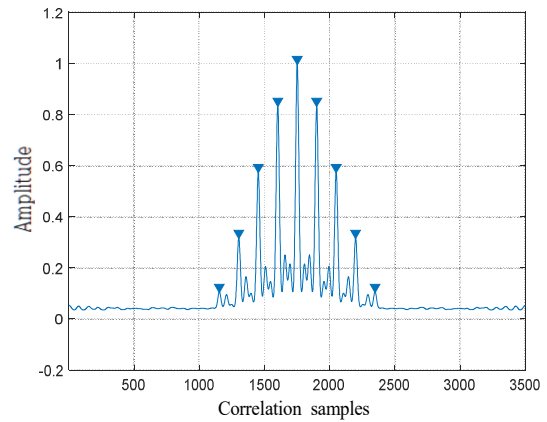


그림 6. Correlation 결과 값
Fig. 6. Correlation result

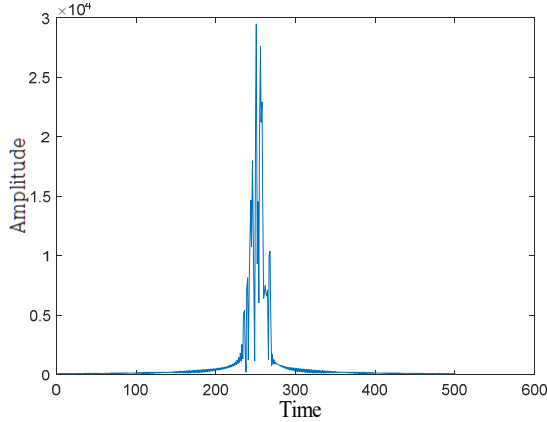


그림 7. 선택된 단일표적 HRRP
Fig. 7. Single target HRRP

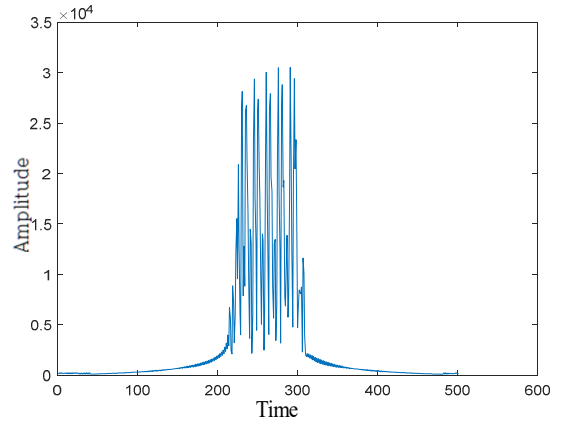


그림 8. 피크점에 단일표적이 배치된 HRRP
Fig. 8. Arranged HRRP

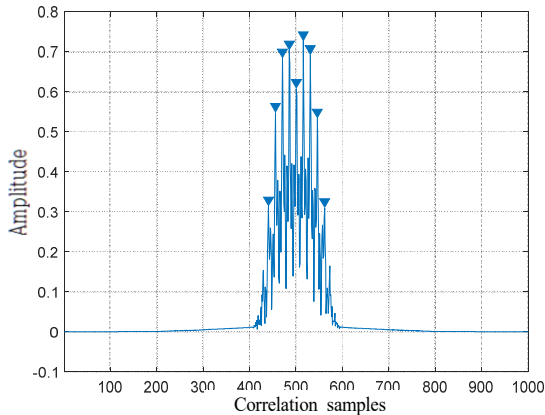


그림 9. 최종 Correlation 결과 값
Fig. 9. Final correlation result

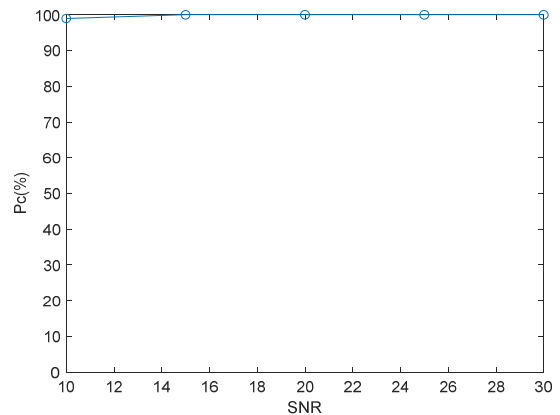


그림 10. SNR에 따른 표적대수 추정결과
Fig. 10. Recognition output

또한 그림 6과 그림 9에서 보는 바와 같이, 5대 표적 HRRP의 상호상관으로 인하여 표적 피크점이 9개인 것을 확인할 수 있다. 즉, 표적 대수 N 에 대하여 $2N - 1$ 개의 피크가 나타나게 됨을 알 수 있다.

그림 10은 SNR에 따른 편대비행 표적대수 추정 정확도 결과다. 그림에서 보는 바와 같이, 제안된 알고리즘이 SNR에 관계없이 100%에 가깝게 편대비행 표적대수 추정을 하였음을 알 수 있다. 이는 제안된 알고리즘을 통하여 잡음에 취약한 역푸리에 변환 HRRP가 RELAX 알고리즘을 통하여 개선되었으며, MUSIC 알고리즘이 피크 사이의 간섭을 최소화 시킨 결과이다. 또한 표적의 피크 위치를 이용하여 구성된 HRRP와 편대비행 표적의 HRRP 사이의 상호상관관계가 표적대수 추정에 매우 효과적인 비용함수로서 작용함을 의미한다. 최종적으로 편대비행 대수를 효율적으로 높은 정확도로 추정함으로써

추 후 편대비행 표적 식별시의 정확도 및 계산시간을 크게 증대시킬 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 편대비행 표적의 구분성능을 극대화하기 위하여 표적 대수를 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 역푸리에변환 HRRP의 잡음 취약성을 RELAX 알고리즘을 이용하여 개선하였으며, 또한 MUSIC 및 CFAR Detector를 이용하여 표적의 산란점간의 영향을 최소화 하였다. 마지막으로 피크 점 및 이를 이용한 단일 표적들의 HRRP로 구성된 HRRP와 편대비행 표적의 HRRP 간의 상호상관을 이용하여 최종적으로 표적의 대수를 추정하였다. 점산란원 표적을 이용한 시뮬레이션 결과, 낮은 SNR에서도 100%에 가까운 대수 추정이

가능하였다.

서론에서 언급한 바와 같이, 논문에서 제안하는 기법은 편대비행 표적을 식별하기 위하여 학습데이터를 구성 시간을 획기적으로 줄이고 및 구분 결과를 향상시킬 수 있는 표적대수 추정 기법이다. 현재 본 논문의 연구자들은 제안된 기법을 적용한 편대비행 표적식별 알고리즘에 관한 연구를 진행 중이며, 그 결과를 관련 논문지에 발표할 예정이다.

References

[1] M. Martorella, J. Palmer, J. Homer, B. Littleton, and I. D. Longstaff, "On bistatic inverse synthetic aperture radar", IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., Vol. 43, No. 3, pp. 1125-1134, Jul. 2007.

[2] M. Martorella, D. Cataldo, and S. Briskin, "Bistatically equivalent monostatic approximation for bistatic ISAR", Proc. 2013 IEEE Radar Conference, pp. 1-5, Apr/May 2013.

[3] 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.

[4] Seung-Jae Lee, Seong-Jae Jeong, Eunjung Yang, and Kyung-Tae Kim, "Target identification using bistatic high-resolution range profiles", IET Radar, Vol. 11, No. 3, pp. 498-504, Mar. 2017.

[5] Jina Li and Petre Stoica, "Efficient mixed-spectrum estimation with applications to target feature extraction", IEEE Trans. Singal Processing, Vol. 44, No. 2, pp. 281-295, Feb. 1996.

[6] J. W. Odendaal, E. Barnard, and C. W. I. Pistorius, "Two-dimensional superresolution radar imaging using the music algorithm", IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 42, No. 10, pp. 1386-1391, Oct. 1994.

[7] K. T. Kim, D. K. Seo, H. T. Kim, "Efficient radar target recognition using the MUSIC

algorithm and invariant features", IEEE Trans. Antennas Propag, Vol. 50, No. 3, pp. 325-337, Mar. 2002.

[8] L. Scharf, "Statistical Signal Processing: Detection Estimation and Time Series Analysis", Addison Wesley, 1991.

[9] J. I. Park and K. T. Kim, "Efficient construction of training database for identification of aircraft HRR profiles", Proc. IEEE Radar Conf. pp. 590-595, May 2010.

저자소개

황 석 현 (Seok-Hyun Hwang)



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

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

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

임 진 환 (Jin-Hwan Lim)



2000년 2월 : 전북대학교
환경공학과(공학사)
2002년 2월 : 전북대학교
환경공학과(공학석사)
2003년 12월 : 맑은물지킴이 재직
2006년 4월 : 태영환경(현 TSK)재직
2010년 2월 : 광운대학교

환경공학과(공학박사)

2006년 5월 ~ 현재 : SK건설

관심분야 : 레이더표적인식, 레이더 영상, 레이더
신호처리

박 상 흥 (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