

바이스태틱 레이더 측정 신호를 이용한 표적 인식에 관한 연구

A Study on the Target Recognition Using Bistatic Measured Radar Signals

이 성 준 · 이 승 재 · 최 인 식

Sung-Jun Lee · Seung-Jae Lee · In-Sik Choi

요 약

본 연구는 미시간 주립대(Michigan State University)의 바이스태틱 레이더 시스템을 통하여 수집한 측정 데이터를 이용한 표적 구분에 관한 연구 결과이다. 본 연구에서는 먼저 F-14, Mig-29, F-22 스케일 모델에 대하여 30°, 60°, 90° 바이스태틱 각도에서의 측정을 수행하였다. 측정된 데이터로부터 시간-주파수 영역 해석법인 단시간 푸리에 변환(Short Time Fourier Transform)과 연속 웨이블릿 변환(Continuous Wavelet Transform)을 이용하여 특성 벡터를 추출하고, 신경망 구분기를 통하여 표적 구분 실험을 수행하였다. 실험 결과, 바이스태틱 각도에 따라 표적 구분 성능에 많은 변화가 있으며, 특히, 60° 바이스태틱 각도에서 가장 좋은 구분 성능을 가짐을 알 수 있었다.

Abstract

This paper shows the research about radar target recognition using the measured radar signals from MSU(Michigan State University) bistatic radar system. In this research, we first did the bistatic measurements at 30°, 60°, 90° using F-14, Mig-29, and F-22 scale models. Then, we extract the target feature vectors using time-frequency analysis methods such as STFT(Short Time Fourier Transform) and CWT(Continuous Wavelet Transform) and perform the target classification test using MLP(Multi-layerd Perceptron) neural network. The results show that the target classification performance is too much dependent on the bistatic angles and the best performance is obtained at the 60° bistatic angle.

Key words : Bistatic Radar, Feature Extraction, Time-Frequency Analysis, MLP Neural Network, Target Classification

I. 서 론

레이더라고 하면 주로 송·수신기의 위치가 동일한 모노스태틱 레이더를 일컫었으며, 이는 역산란 신호가 큰 표적들을 탐지하는 데는 문제가 없었다. 하지만 최근에는 미국, 중국, 러시아, 프랑스 등 세계 많은 선진국들이 레이더에 탐지되지 않는 군사적

은폐 기술인 스텔스(stealth) 표적을 개발함에 따라 그에 따른 위협이 점증되고 있으며, 이를 탐지 및 인식하기 위한 레이더로 송·수신기의 위치가 분리되어 있는 바이스태틱 레이더가 많은 관심을 받고 있다^{[1]~[5]}. 스텔스형 표적은 전파 흡수체(RAM: Radar Absorbing Material)와 역산란 신호를 최소화 하는 스텔스 디자인(design) 기술을 이용하여 모노스태틱 레

「본 논문은 2012년도 한남대학교 교비학술연구비의 지원에 의한 연구결과임.」

한남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Hannam University)

· Manuscript received June 18, 2012 ; Revised July 26, 2012 ; Accepted August 1, 2012. (ID No. 20120618-071)

· Corresponding Author : In-Sik Choi (e-mail : recog@hnu.kr)

이다에는 잘 탐지가 되지 않는다. 따라서, 역산란 신호를 최소화한 스텔스 디자인을 무력화시키기 위해서는 모노스태틱 레이더보다 바이스태틱 레이더를 이용하는 것이 더욱 효과적일 수 있다^[6].

바이스태틱 레이더의 기본 개념은 1950년대에 개발되었다. 하지만 모노스태틱 레이더 시스템에 비해 기술적으로 복잡하여 선진국에서 실제 연구하고 제작한 것은 1990년대 후반부터 시작되었다. 그리고 최근에는 컴퓨터 기술의 발전으로 복잡한 계산을 수행할 수 있게 되어 바이스태틱 레이더 기술은 이론뿐만 아니라 실제 구현이 가능하게 되었다^[7]. 뿐만 아니라 TV 방송 송신기, SAR 영상 획득 및 표적 구분, 항공 레이더, 침입 감지 센서 등 여러 분야에 걸쳐 바이스태틱 레이더가 활발히 연구되어지고 있다^{[8]~[10]}.

레이더를 연구하는 대부분의 나라에는 바이스태틱 레이더를 연구할 수 있는 환경이 잘 갖추어진 반면, 국내에서는 아직 바이스태틱 레이더 측정 시스템을 갖추고 있지 못해 바이스태틱 레이더와 관련한 연구 여건이 매우 열악하다고 볼 수 있다.

기존의 시간-주파수 영역 해석법인 단시간 푸리에 변환(STFT: Short Time Fourier Transform)과 연속 웨이블릿 변환(CWT: Continuous Wavelet Transform)을 이용한 표적 구분에 관한 연구들에서는 시뮬레이션을 통해 계산된 선형 표적을 이용한 모노스태틱 RCS와 바이스태틱 RCS에 대한 비교 연구를 통해 모노스태틱 RCS뿐만 아니라 바이스태틱 RCS를 이용하여도 충분히 좋은 구분 성능을 가짐을 보였으며^[11], 모노스태틱 레이더 측정 신호를 이용하여 스케일 모델에 대한 표적 구분 연구를 통해 광대역 레이더 신호가 표적 인식 성능을 향상시킴을 보였다^[12].

본 논문에서는 미국의 미시간 주립대에서 보유하고 있는 아치 레인지(arch range)를 이용하여 F-14, MIG-29, F-22 3기종의 스케일 모델에 대해 30°, 60°, 90°의 바이스태틱 각도에서 레이더 측정 신호를 획득하여, 바이스태틱 레이더 측정 신호를 기반으로 교정을 거친 후, 시간-주파수 영역 해석법인 STFT와 CWT를 이용하여 표적들의 특성 벡터인 산란점과 공진 주파수를 동시에 추출하였다. 추출된 특성 벡터들은 다층 퍼셉트론(MLP: Multi-Layered Perceptron) 신경망 구분기를 이용하여 표적을 구분하였다.

바이스태틱 레이더 측정 신호를 기반으로 표적 구분 실험을 수행한 결과, 바이스태틱 각도에 따라 표적 구분 성능에 많은 변화가 있음을 확인할 수 있었다.

II. 바이스태틱 측정 시스템

현재 국방과학연구소(ADD)나 포항공대(POSTECH) 등에서는 단축거리 측정 시스템인 콤팩트 레인지(compact range)를 이용하여 모노스태틱 레이더 측정은 가능하지만, 아직 국내에서는 바이스태틱 레이더 측정 시스템을 갖추고 있지 못하여 본 논문에서는 미시간 주립대에서 보유한 아치 레인지(arch range)를 이용하여 바이스태틱 레이더 측정 신호를 획득하였다. 본 장에서는 바이스태틱 레이더 측정 시스템의 측정 방법 및 교정 기법에 대해서 설명하고자 한다.

2-1 바이스태틱 측정 방법 및 측정 시스템

그림 1은 미시간 주립대에서 보유하고 있는 시간 영역 측정 시스템(time-domain measurement system)인 아치 레인지(arch range)의 전체 구성도를 보여주고 있다. 아치 레인지는 스텝 프리퀀시(steped-frequency) 신호를 생성하며 표적에 맞고 들어오는 신호를 수신하기 위한 네트워크 분석기(network analyzer), 송신 안테나가 설치되는 원형 레일, 표적물을 올려놓고 회전시키기 위한 지지대(positioner), 그리고 전체 시스템을 제어하는 PC 세트 등으로 이루어진다. 송신 안테나와 수신 안테나는 2~18 GHz 대역 특성을 가지는 혼(horn) 안테나를 이용하며, 유전체 렌즈는 평면파(plane wave)를 형성시켜 주는 역할을 수행한다. 원형 레일은 직경 6.096 [m], 높이 1.2 [m]이며, 표적은 원형 레일의 중심에 위치하는 스티로폼(styrofoam) 지지대에 놓인다. 스티로폼 지지대의 높이는 안테나의 높이와 일치하게 하여 가장 균일한 입사파(uniform incident wave)를 형성할 수 있도록 하였다. 원형 레일 주변에는 전파 흡수체(microwave absorber)를 배치하여 반사파의 영향을 최소화 하였다^[13].

2-2 바이스태틱 측정 시스템의 교정 기법

미시간 주립대에서 보유하고 있는 바이스태틱 측

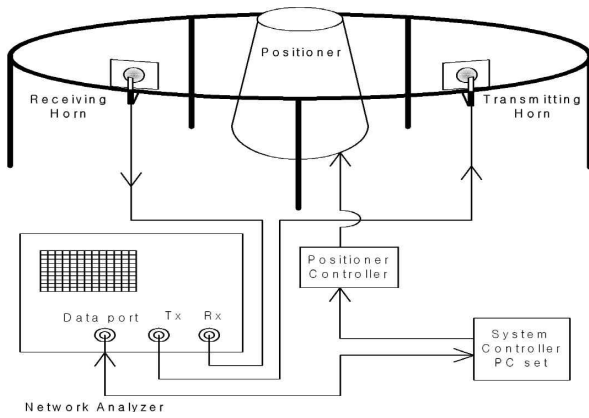


그림 1. 미시간 주립대의 바이스테틱 레이다 측정 시스템
 Fig. 1. Bistatic radar measurement system at Michigan State University.

정 시스템의 교정을 진행하기 위하여 다음과 같은 방법으로 측정을 진행하였다. 먼저 표적 신호를 측정하기 전에 배경 신호(background signal, $Sig^b(f)$)를 측정한다. 다음으로 14 [inch] 직경을 가지는 구에 대한 신호($Sig^c(f)$)를 측정한 뒤, 표적 신호($Sig^m(f)$)를 측정한다. 표적에 대하여 측정을 완료한 뒤 곧바로 배경 신호와 구에 대한 신호를 다시 한 번 측정한다. 배경 신호와 구에 대한 신호를 다시 한 번 더 측정하는 이유는 긴 시간동안 표적에 대하여 측정되기 때문에 측정 후반 시간부에 측정되는 신호의 배경 신호와 구에 대한 신호가 측정 전반 시간부의 신호들과 차이가 날 수 있다. 이러한 차이들을 최소화시키기 위하여 측정 전반 시간부에 사용될 교정 신호와 측정 후반부에 사용될 교정 신호를 따로 측정하는 것이다. 측정된 신호들을 가지고 교정을 진행하는 절차는 다음 식 (1)과 같다.

$$Calibrated_Sig(f) = \frac{FFT[Sig^m(t) - Sig^b(t)]}{FFT[Sig^c(t) - Sig^b(t)]} \quad (1)$$

여기서, $Sig^m(t)$, $Sig^b(t)$ 그리고 $Sig^c(t)$ 는 각각 IFFT(Inverse fast Fourier transform)을 이용하여 시간 영역 신호로 변환된 표적 신호, 배경 신호, 구에 대한 신호이다. 위 식에서 시간 영역의 표적 신호로부터 배경 신호를 빼 주는데, 이 과정을 통하여 안테나 사이의 간섭(cross talk)을 제거시킬 수 있다. 마찬가지로 구에 대한 신호에서 배경 신호를 빼 줌으로써, 안테나 사이의 간섭을 제거시킨다. 각각 계산된 신호

를 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하여 다시 주파수 영역의 신호로 변환한 후, 나누어 준다.

다음 과정은 식 (1)에서 계산된 신호를 IFFT를 통하여 시간 영역의 신호로 변환한 후 시간 게이팅(time gating)을 이용하여 제거되지 않은 잡음 신호들을 다시 한 번 제거한 후, $Gated_Sig(t)$ 를 얻는다.

$$RCS^T(f) = |FFT[Gated_Sig(t)]|^2 \times RCS^C(f) \quad (2)$$

최종적으로, 식 (2)에서처럼 FFT를 통하여 $Gated_Sig(t)$ 를 주파수 영역으로 변환한 후, 14[inch] 직경을 가지는 구에 대하여 Mie Series^[14]로 계산한 이론치($RCS^C(f)$)를 곱하여 잡음이 제거된 표적 신호($RCS^T(f)$)를 얻을 수 있다.

III. 표적의 특성 벡터 추출

본 논문에서는 STFT와 CWT를 이용하여 표적들의 특성 벡터를 추출하였다^[11]. 참고문헌 [11]에는 STFT와 CWT 구현 식을 이용하여 $M \times N$ 차원의 특성 벡터 행렬을 얻는 방법에 대해 설명되어 있다. 또한, 신경망 구분기에 효율적으로 적용할 수 있도록 특성 벡터의 차원을 압축하는 방법으로서 STFT, CWT 각각의 특성 벡터를 압축하는 방법에 대해 설명되어 있다. 본 논문에서는 STFT의 특성 벡터를 압축하는데 사용된 방법을 일정한 크기의 차원 압축이라고 하였으며, CWT의 특성 벡터를 압축하는데 사용된 방법을 정보 추출을 고려한 차원 압축이라고 하였다. 이러한 압축 방법들을 STFT와 CWT에 관계없이 적용하여 신경망 구분기의 입력으로 사용하였다.

3-1 일정한 크기의 차원 압축

앞서 언급한 STFT와 CWT로부터 얻어지는 $M \times N$ 차원의 특성 벡터 행렬을 T-F(τ, f)라고 한다면, 이 T-F(τ, f) 행렬을 J 개의 시간 밴드와 K 개의 주파수 밴드로 등분한다. 이렇게 등분된 T-F(τ, f) 행렬의 시간 밴드 해상도(A_τ)는 NT_s/J 로 정의된다. 또한, 주파수 밴드 해상도(A_f)는 BW/K 로 정의된다. 따라서 j 번째 시간 밴드와 k 번째 주파수 밴드에서의 특성 벡터 $F_{k,j}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$F_{k,j} = \int_{(j-1)A_\tau}^{jA_\tau} \int_{(k-1)A_f}^{kA_f} T-F(\tau, f) df d\tau \quad (3)$$

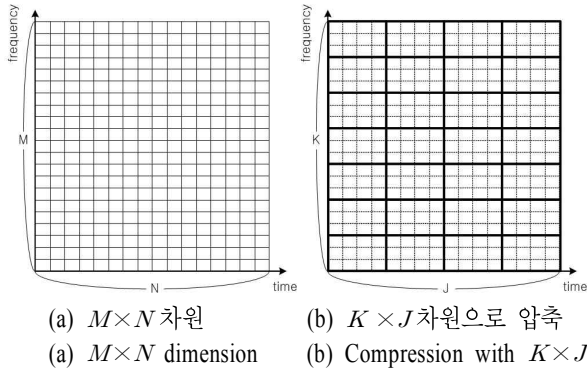


그림 2. 일정한 크기의 차원 압축

Fig. 2. Compression of feature vector dimension with fixed size.

위 식을 이해하기 쉽도록 그림으로 표현하면 그림 2와 같다. 그림 2(a)는 압축되기 이전의 $M \times N$ 차원의 T-F(τ, f) 특성 벡터 행렬이며, 그림 2(b)는 $M \times N$ 차원을 $K \times J$ 차원으로 압축시켜 준 것이다. 그림과 같이 하나의 시간 밴드와 주파수 밴드 안에 포함되는 여러 값들의 합이 하나의 값으로 압축되는 것이다. 이렇게 특성 벡터 차원수를 줄여줌으로써 메모리가 절약되며, 신경망의 구조가 간단해서 신경망의 학습 시간을 단축시킬 수 있는 장점이 있다.

3-2 정보 추출을 고려한 차원 압축

본 논문에서는 후기 시간 영역이 시작하는 시간 T_L 은 입사파가 표적을 가로지르는 최대 시간의 2배로 정의하였다^[15]. T_L 을 기준으로 $t \leq T_L$ 영역을 초기 시간 영역, $t > T_L$ 영역을 후기 시간 영역으로 나눌 수 있다. 효율적인 정보 추출을 위하여 초기 시간 영역과 후기 시간 영역을 나누어 각 영역의 특성에 알맞게 특성 벡터를 압축한다.

초기 시간 영역의 특성 벡터 압축은 먼저 초기 시간 영역을 J_e 개의 시간 밴드와 K_e 개의 주파수 밴드로 나눈다. 초기 시간 영역에서는 시간 해상도가 더 좋아야 하므로 J_e 를 K_e 보다 크도록 결정한다. 이렇게 나뉜 T-F(τ, f) 행렬의 초기 시간 영역의 시간 밴드 해상도(A_τ^e)는 T_L/J_e 로 정의되며, 주파수 밴드 해상도(A_f^e)는 BW/K_e 로 정의된다. j_e 번째 시간 밴드와 k_e 번째 주파수 밴드에서의 특성 벡터 F_{k_e, j_e} 는 식 (4)와 같다.

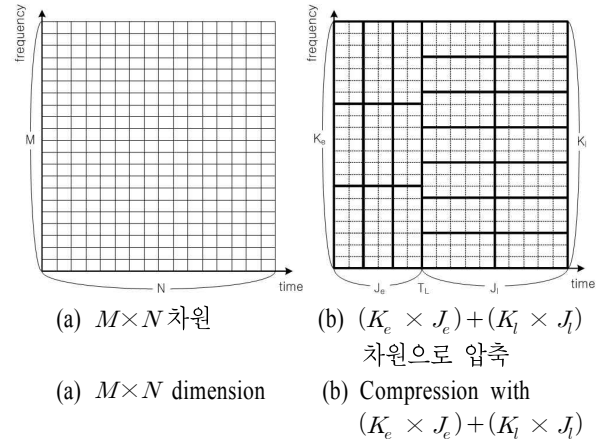


그림 3. 효율적인 정보 추출을 고려한 차원 압축

Fig. 3. Compression of feature vector dimension considering efficient feature extraction.

$$F_{k_e, j_e} = \int_{(j_e-1)A_\tau^e}^{j_e A_\tau^e} \int_{(k_e-1)A_f^e}^{k_e A_f^e} T-F(\tau, f) df d\tau \quad (4)$$

후기 시간 영역의 특성 벡터 압축은 먼저 후기 시간 영역을 J_l 개의 시간 밴드와 K_l 개의 주파수 밴드로 나눈다. 후기 시간 영역에서는 주파수 해상도가 더 좋아야 하므로 K_l 을 J_l 보다 크도록 결정한다. 이렇게 나뉜 T-F(τ, f) 행렬의 후기 시간 영역의 시간 밴드 해상도(A_τ^l)는 T_{end} 를 후기 시간 영역이 끝나는 시간이라고 했을 때에 $(T_{end} - T_L)/J_l$ 로 정의되며, 주파수 밴드 해상도(A_f^l)는 BW/K_l 로 정의된다. j_l 번째 시간 밴드와 k_l 번째 주파수 밴드에서의 특성 벡터 F_{k_l, j_l} 은 식 (5)와 같이 정의된다.

$$F_{k_l, j_l} = \int_{(j_l-1)A_\tau^l}^{j_l A_\tau^l} \int_{(k_l-1)A_f^l}^{k_l A_f^l} T-F(\tau, f) df d\tau \quad (5)$$

위와 같은 과정을 통하여 $M \times N$ 차원의 특성 벡터를 $(K_e \times J_e) + (K_l \times J_l)$ 차원의 특성 벡터로 압축할 수 있다. 위의 과정을 이해하기 쉽도록 그림으로 표현하면 그림 3과 같다. 그림 3(a)는 $M \times N$ 차원의 특성 벡터이며, 그림 3(b)는 효율적인 정보 추출을 고려하여 $(K_e \times J_e) + (K_l \times J_l)$ 차원으로 압축한 특성 벡터를 보여주고 있다.

IV. 측정 및 구분 결과

4-1 표적의 RCS 데이터

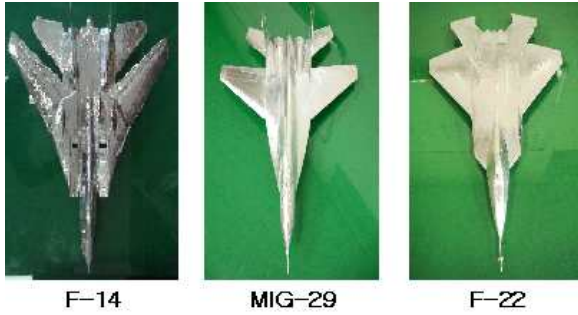


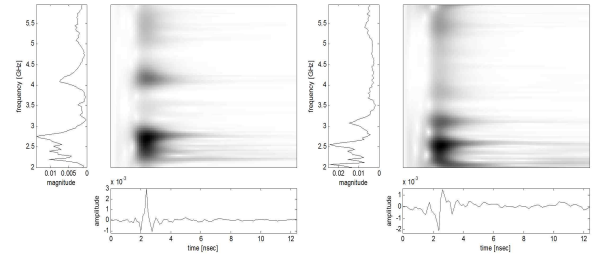
그림 4. 측정에 사용된 표적
Fig. 4. Targets used for measurement.

본 논문에서는 미시간 주립대에서 보유하고 있는 아치 레인지(arch range)를 이용하여 표적의 RCS 데이터를 획득하였다. 사용하는 주파수 대역폭은 4 GHz로서, 2~6 GHz이며, 100개의 포인트로 샘플링하였다. 측면 각(aspect angle)은 표적의 전체를 측정하기에는 시간적으로 너무 오래 걸리기 때문에 표적의 양쪽은 같은 모양이므로 같은 RCS를 갖는다는 가정으로 표적의 머리 부분을 0°로 하였을 때 75~105°까지 0.5° 간격으로 측정하였다. 측정에 사용된 표적으로는 F-14, MIG-29, F-22 3기종의 스케일 모델이며, 그림 4에 나타나 있다.

4-2 특성 벡터 추출

먼저, STFT를 이용하여 얻어진 $M=N=100$ 인 특성 벡터 행렬을 일정한 크기의 차원 압축 방법을 이용하여 $J=10$ 의 시간 밴드와 $K=10$ 의 주파수 밴드로 나누어 특성 벡터를 압축함으로써, $K \times J=100$ 차원의 특성 벡터를 얻게 된다. 또한, 주파수 영역의 CWT를 이용하여 얻어진 $M=N=100$ 인 특성 벡터 행렬을 일정한 크기의 차원 압축 방법을 이용하여 $J=10$ 의 시간 밴드와 $K=10$ 의 주파수 밴드로 나누어 특성 벡터를 압축함으로써, $K \times J=100$ 차원의 특성 벡터를 얻게 된다.

효율적인 정보 추출을 고려한 압축 방법을 이용하기 위하여 STFT와 CWT 각 행렬을 $T_c=3.625$ nsec를 기준으로 초기 시간 영역과 후기 시간 영역으로 나눈다. 초기 시간 영역은 다시 $J_c=10$ 개의 시간 밴드와 $K_c=5$ 개의 주파수 밴드로 나눈다. 후기 시간 영역은 다시 $J_c=2$ 개의 시간 밴드와 $K_c=25$ 개의 주파수 밴드로 나눈다. 따라서, 압축된 특성 벡터의 차원



(a) 바이스테틱 60° (b) 바이스테틱 90°
(a) Bistatic angle=60° (b) Bistatic angle=90°

그림 5. 바이스테틱 RCS를 이용한 CWT 스펙트로그램
Fig. 5. CWT spectrogram using bistatic RCS.

수는 $10 \times 5 + 2 \times 25 = 100$ 이 된다. 다음 그림은 F-22의 측면각 90°에 대하여 바이스테틱 각도 60°와 90°에서 계산된 RCS를 이용한 100×100 차원의 CWT 스펙트로그램이다.

4-3 표적 구분 실험

본 논문에서는 표적을 구분하기 위해서 2개의 은닉층(hidden layer)을 가지고 있는 MLP 신경망을 이용하였다. 1번째 은닉층은 입력 특성 벡터 차원의 1/2개의 뉴런을 가지며, 2번째 은닉층은 1번째 은닉층 뉴런 수의 1/3개의 뉴런을 갖는다. 각 표적에 대한 75°, 75.5°, 76° ..., 104.5°, 105°의 특성 벡터 데이터에서 소수 각도의 데이터를 신경망 학습 데이터로 사용하였으며, 정수 각도의 데이터를 테스트 데이터로 사용하였다. 구분확률의 신뢰성을 높이기 위해 100회의 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였으며, MLP 신경망의 학습과정에서 학습 데이터에 백색 가우시안 잡음(white Gaussian noise)을 추가하여 잡음에 매우 강건한 구분기를 얻게 되었다^[13]. 바이스테틱 각도별로 가장 우수한 성능을 가지는 특성 벡터 차원 압축 방법을 찾았으며, 그 결과는 표 1과 같다. 60° 바이스테틱 각도의 RCS를 이용하며, STFT로 추출한 특성 벡터를 효율적인 정보 추출을 고려하여 차원을 압축한 방법과 CWT로 추출한 특성 벡터를 일정한 크기로 차원을 압축한 방법을 사용하였을 때, 다른 각도의 바이스테틱 각도 RCS를 이용했을 때보다 약 12~14% 가량 우수한 성능을 가진다. 이로서, 30°, 60°, 90° 바이스테틱 각도 중 최적의 바이스테틱 각도는 60°임을 확인할 수 있다.

표 1. 바이스태틱 각도에 따른 표적 구분 확률 및 표준편차(괄호 안) [%]

Table 1. Target classification percentages and its standard deviation(in parenthesis) for various bistatic angle [%].

바이스태틱 각도	특성 벡터 추출방법	SNR[dB]				
		-10	-5	0	5	10
30°	효율적인 정보 추출을 고려한 차원 압축 STFT	46.4 (2.8)	48.7 (2.9)	55.8 (3.2)	73.0 (4.2)	87.0 (2.7)
	일정한 크기의 차원 압축 CWT	45.1 (2.9)	48.3 (3.3)	58.4 (2.8)	76.9 (3.1)	87.1 (2.3)
60°	효율적인 정보 추출을 고려한 차원 압축 STFT	55.4 (3.3)	64.5 (3.3)	74.8 (2.8)	84.7 (2.7)	90.2 (2.4)
	일정한 크기의 차원 압축 CWT	52.7 (3.8)	67.1 (4.5)	79.3 (2.8)	86.7 (2.7)	93.6 (1.8)
90°	일정한 크기의 차원 압축 STFT	41.1 (3.9)	43.7 (4.0)	58.2 (3.9)	72.1 (3.5)	82.9 (2.9)
	일정한 크기의 차원 압축 CWT	40.7 (3.5)	45.1 (3.6)	62.7 (5.2)	73.9 (3.5)	84.4 (2.8)

다음으로는 혼동 행렬(confusion matrix)을 이용하여 각 표적 간의 혼동관계를 알아보았다. 혼동 행렬은 실제 표적과 구분된 표적간의 관계를 나타내는 행렬로서 행렬의 대각선 원소의 값이 실제 표적과 구분된 표적이 일치함을 의미하며, 혼동 행렬의 각 원소들의 값은 다음의 식에 의해 구해진다^[12].

$$P_c = \frac{\text{올바르게 구분된 총 횟수}}{3(\text{총 표적 수}) \times 31(\text{테스트에 사용된 각도 수})} \times 100(\%) \quad (6)$$

표 2는 가장 좋은 성능을 나타낸 CWT의 특성 벡터를 일정 크기로 차원을 압축하는 방법을 이용한 표적 구분 실험에 대하여 SNR이 0 dB일 때, 각 바이스태틱 각도에 대한 혼동 행렬을 나타낸다.

표 2를 보면 모든 바이스태틱 각도에서 특히 F-14와 MIG-29 스케일 모델이 서로 혼동 관계가 큰 것을 확인할 수 있다. 바이스태틱 30°와 90°에서는 MIG-29가 F-14로 구분되는 경우가 가장 많았으며, 바이스태틱 60°에서는 F-14가 MIG-29로 구분되는 경우가 가장 많은 것을 알 수 있다.

표 2. SNR=0 dB에서의 바이스태틱 각도별 혼동 행렬 [%]

Table 2. Confusion matrix versus bistatic angle at SNR =0 dB [%].

(a) 바이스태틱 각도 30°

실제 표적	구분된 표적		
	F-14	MIG-29	F-22
F-14	61.94	23.16	14.90
MIG-29	26.19	49.07	24.74
F-22	12.29	23.48	64.23

(b) 바이스태틱 각도 60°

실제 표적	구분된 표적		
	F-14	MIG-29	F-22
F-14	78.10	16.97	4.93
MIG-29	11.22	80.13	8.65
F-22	10.29	10.19	79.52

(c) 바이스태틱 각도 90°

실제 표적	구분된 표적		
	F-14	MIG-29	F-22
F-14	69.06	18.10	12.84
MIG-29	29.90	50.90	19.20
F-22	17.87	14.10	68.03

V. 결 론

본 논문에서는 바이스태틱 측정 레이더 신호를 이용하여 표적 구분 실험을 진행하였다. 3기종의 스케일 모델들에 대해 30°, 60°, 90°의 바이스태틱 각도에서 측정한 데이터를 기반으로 실험을 진행하였으며, 시간-주파수 영역 해석법인 STFT와 CWT를 이용하여 표적들의 특성 벡터인 산란점과 공진 주파수를 동시에 추출하였다. 추출된 특성 벡터를 차원 압축을 수행한 후, 신경망의 입력으로 사용하여 바이스태틱 각도에 따른 표적 구분 성능을 비교해 보았다. 실험 결과, 바이스태틱 각도에 따라 표적 구분 성능에 많은 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 30°, 60°, 90°의 바이스태틱 각도 중 60°의 바이스태틱 각도에서 다른 바이스태틱 각도들보다 약 12~14 % 정도 더 우수한 표적 구분 성능을 갖는 것을 확인함으로써 30°, 60°, 90°의 바이스태틱 각도 중

최적의 바이스테틱 각도는 60°임을 확인할 수 있었다. 또한, 혼동 행렬을 통해서 표적들 간에 혼동 관계에 대해서도 확인할 수 있었다.

감사의 글

측정을 도와준 미시건 주립대 Rothwell 교수님 연구팀에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] L. Gürel, H. Bagci, J. C. Castelli, A. Cheraly, and F. Tardivel, "Validation through comparison: Measurement and calculation of the bistatic radar cross section of a stealth target", *Radio Science*, vol. 38, no. 3, pp. 1046-1058, Sep. 2003.
- [2] H. D. Griffiths, "Bistatic and multistatic radar", *IEE Military Radar Seminar*, Shrivenham, Sep. 2004.
- [3] R. J. Boyle, W. Wasylkiwskyj, "Comparison of monostatic and bistatic bearing estimation performance for low RCS targets", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 30, no. 3, pp. 962-968, 1994.
- [4] X. -F. Li, Y. -J. Xie, and R. Yang, "Bistatic RCS prediction for complex targets using modified current marching technique", *Progress in Electromagnetics Reaserch*, vol. 93, pp. 13-28, 2009.
- [5] E. G. Alivizatos, M. N. Petsios, and N. K. Uzunoglu, "Towards a range-doppler UHF multistatic radar for the detection of non-cooperative targets with low RCS", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 19, no. 15, pp. 2015-2031, 2005.
- [6] C. Wei, W. Chang, "System level investigations of television based bistatic radar", *Master Thesis, University of Cape Town*, pp. 14-15, 2005.
- [7] N. J. Wills, *Bistatic Radar(2nd Ed.)*, Scitech Pub. Inc., 2007.
- [8] M. Cherniakov, "Space-surface bistatic synthetic aperture radar-prospective and problems", *Proc. RADAR 2002 Conference*, Edinburgh, UK, no. 490, pp. 22-26, Oct. 2002.
- [9] A. K. Mishra, B. Mulgrew, "Bistatic SAR ATR", *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. 1, no. 6, pp. 459-469, Dec. 2007.
- [10] N. K. Ibrahim, R. S. A. Raja Abdullah, and M. I. Saripan, "Artificial neural network approach in radar target classification", *Journal of Computer Science*, vol. 5, no. 1, pp. 23-32, 2009.
- [11] 이성준, 최인식, "모노스테틱 RCS와 바이스테틱 RCS의 표적 구분 성능 분석", *한국전자과학회논문지*, 21(12), pp. 1460-1466, 2010년 12월.
- [12] 이승재, 이성준, 최인식, 박강국, 김효태, 김정태, "광대역 레이더 측정 신호를 이용한 표적 구분 성능 향상", *한국전자과학회논문지*, 22(10), pp. 981-989, 2011년 10월.
- [13] 최인식, E. J. Rothwell, "시간 영역 및 주파수 영역 UWB 레이더 신호 측정에 관한 연구", *한국정보기술학회논문지*, 7(5), pp. 57-63, 2009년 10월.
- [14] J. E. Ross, "Application of transient electromagnetic fields to radar target discrimination", Ph.D. dissertation, Michigan State University, 1992.
- [15] E. M. Kennaugh, "Opening remarks", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 29, no. 2, pp. 190-194, 1981.

이 성 준



2010년 2월: 한남대학교 전자공학과 (공학사)
2012년 2월: 한남대학교 전자공학과 (공학석사)
[주 관심분야] Radar 신호처리, Radar 시스템 설계

최 인 식



1998년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
2000년 2월: POSTECH 전자전기공학과 (공학석사)
2003년 2월: POSTECH 전자전기공학과 (공학박사)
2003년~2004년: LG전자 선임연구

원

2004년~2007년: 국방과학연구소 선임연구원

2007년~현재: 한남대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] Radar 신호처리, Radar 시스템 설계, RFID

이 승 재



2011년 2월: 한남대학교 전자공학과 (공학사)
2011년 3월~현재: 한남대학교 대학원 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] Radar 신호처리, Radar 시스템 설계