

# 다중 채널 융합 기법을 이용한 DTV 기반 수동형 레이더의 표적 인식 방법

## Target Recognition Method of DTV-Based Passive Radar Using Multi-Channel Combining Method

설 승 환 · 최 영 재 · 최 인 식

Seung-Hwan Seol · Young-Jae Choi · In-Sik Choi

### 요 약

본 논문에서는 DTV(Digital Television) 기반의 수동형 레이더와 다중 채널 융합 기법을 이용한 항공기 표적 인식 방법을 제안하였다. DTV에서 송신되는 다수의 채널을 융합하여 표적인식에 필요한 해상도의 HRRP(High Resolution Range Profile)를 획득하였다. HRRP는 AR(Auto Regressive) 기법 또는 제로 패딩 기법을 이용하여 획득하였다. 획득한 HRRP로부터, 경사하강법을 이용한 CLEAN 기법을 통해 산란점을 추출한 후 특성벡터를 생성하였으며, 이를 신경망 구분기에 학습시켜 표적 인식을 수행하였다. 제안된 방법의 성능을 검증하기 위하여 실제 국내에서 운용되고 있는 3개의 송신소(관악산, 용문산, 견월악)의 주파수 대역을 가정하고, 4종의 항공기 실스케일 3D 캐드 모델을 이용하여 제안된 방법과 각 송신소의 단일 채널 주파수를 이용하였을 때의 표적인식 성능을 비교하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 방법이 3개의 송신소 모두에서 각 송신소의 단일 채널 주파수를 이용하였을 때보다 높은 표적 인식 성능을 보였다.

### Abstract

In this paper, we proposed airborne target recognition using multi-channel combining method in DTV-based passive radar. By combining multi-channel signals, we obtained the HRRP with sufficient range resolution. HRRP was obtained by AR method or zero-padding. From the obtained HRRP, we extracted scattering centers by CLEAN algorithm using the gradient descent. We extracted feature vectors and performed target recognition after training neural network using the extracted feature vectors. To verify performance of proposed methods, we assumed frequency bands of three broadcasting transmitters operated in Korea(Mt. Gwan-ak, Mt. Yong-moon, Kyeon-wol-ak) and used full scale 3D CAD model of four targets. Also we compared the target recognition performance of the proposed method with that of using only single-channel of three broadcasting transmitters. As a result, proposed methods showed better performance than using only single-channel at three broadcasting transmitters.

Key words: Passive Radar, AR Method, Zero-Padding, Target Recognition

## I. 서 론

수동형 레이더는 전용 송신기 없이 이동통신 또는 방

「이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2016R1A2B1011840).」  
한남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Hannam University)

· Manuscript received July 25, 2017 ; Revised August, 7, 2017 ; Accepted October, 11, 2017. (ID No. 20170725-069)

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

송용으로 사용되는 송신신호를 이용하며, 표적을 맞고 산란되어 나오는 신호를 수신한다<sup>[1]</sup>. 송신기로는 일반적으로 FM 라디오, TV, DAB(Digital Audio Broadcasting), DVB(Digital Video Broadcasting) 등을 사용한다. 수동형 레이더는 시스템 구조가 간단하고, 저비용으로 레이더를 구현할 수 있다. 뿐만 아니라 적으로부터 송·수신기의 위치를 감출 수 있으므로 레이더의 생존성을 향상시킬 수 있으며, ECM(Electronic Counter Measures)에 대한 영향을 줄일 수 있고, 바이스태틱 구조이기 때문에 스텔스 항공기를 탐지하는데 효과적이다<sup>[2],[3]</sup>. 영국에서는 크리스탈 팰리스 송신기를 이용하여 doppler와 bearing을 추출해 표적을 탐지하였다<sup>[4]</sup>. 하지만 긴 데이터를 얻는데 어려움이 있어 최적의 조건이 아닌 경우, 표적을 탐지하는데 어려운 결과를 보였다. 그러나 참고문헌 [4]에서는 TV 송신기를 이용하여 참고문헌 [1]과 같은 방법으로 doppler와 bearing을 추출해 표적을 탐지 및 추적하였다. 뿐만 아니라 COFDM(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) 변조 방식의 DAB, DVB 방송국을 이용하여 표적을 탐지하였다<sup>[5]</sup>. 하지만 FM, TV, DAB, DVB 송신소를 사용할 경우, 채널의 대역폭이 좁기 때문에 거리 해상도가 낮다는 문제점을 가지고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 FM 라디오 채널 중 인접한 7개의 채널을 결합하여 대역폭을 확장시킨 후 표적을 탐지하였다<sup>[6]</sup>. 7개의 채널을 결합하여 대역폭을 확장시킨 결과, 거리 해상도가 180 m까지 개선한 결과를 보였다. 이 외에도 다운 샘플링한 신호에 제로 패딩 기법을 적용하여 주파수 해상도를 향상시킨 연구가 있다<sup>[7]</sup>. 그러나 대역폭을 확장시켰음에도 불구하고, 표적을 인식하기엔 충분한 거리 해상도를 얻지 못하였다. 따라서 충분한 거리 해상도를 얻기 위해 Burg 알고리즘을 이용하여 각 채널들 사이의 빈 대역을 보간한 후, 대역폭을 확장시켜 HRRP(High Resolution Range Profile)를 획득하였다<sup>[8]</sup>. 다른 방송국에 비해 비교적 대역폭이 넓은 DTV(Digital Television)를 사용하였으며, 실험 결과 복원된 신호와 원래의 신호가 거의 일치하다는 결과를 얻었다. 하지만 HRRP를 획득하고, 표적 인식하는 연구는 진행되지 않았다.

본 논문에서는 DTV 기반의 수동형 레이더를 가정하여 항공기 표적을 인식하는 방법을 제안하였다. 참고문헌 [8]

에서 제안한 방법 또는 제로 패딩 기법을 이용하여 다중 채널들을 융합한 후 HRRP를 획득하였다. AR(Auto-Regressive)기법 또는 제로 패딩 기법을 이용하여 대역폭을 확장시켰음에도 불구하고, 산란점을 추출할 때 정확한 산란점을 추출하기 어려우므로 경사하강법을 이용한 CLEAN 기법을 통하여 산란점을 추출하였다<sup>[9]</sup>. 경사하강법을 이용한 CLEAN 기법은 주파수 영역에서 산란점을 추출하기 때문에 정확한 산란점을 추출 할 수 있다. 이와 같이 경사하강법을 이용한 CLEAN 기법을 통해 획득한 HRRP에서 산란점을 추출하여 특성 벡터 생성하는 데에 이용하였으며, 이를 신경망을 통해 학습시킨 후 표적 인식 연구를 수행하였다<sup>[10],[11]</sup>. 제안된 방법을 검증하기 위해 국내에서 실제로 운용되고 있는 송신소인 관악산, 용문산, 견월악 3개의 송신소 주파수 대역을 이용하였으며, 표적은 4종의 3D 실스케일 모델을 사용하였다. 시뮬레이션 결과는 제안된 방법을 이용한 표적 인식 확률과 각 송신소의 단일 채널 주파수를 이용하였을 때의 표적 인식 확률을 비교하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 방법을 이용하여 표적 인식을 하였을 때가 단일 채널 주파수를 사용하여 표적 인식을 하였을 때보다 더 높은 확률을 보였다.

## II. 다중 채널 융합 기법

### 2-1 ATSC(Advanced Television Systems Committee)

현재 국내에서는 DTV 방송 표준으로 ATSC 방송 규격을 사용하고 있다. ATSC는 VSB(Vestigial Side Band) 방식으로 변조를 한다. ATSC 전송시스템의 주파수 대역은 VHF/UHF 대역을 사용하며, 채널 대역폭은 6 MHz로 정의하고 있다. 이때 인접 채널에 대한 간섭을 막기 위해 620 kHz를 보호 영역으로 설정하므로, 점유 대역폭은 5.38 MHz가 된다<sup>[12]</sup>. 그림 1은 ATSC의 VSB 채널 스펙트럼의 보호 영역과 점유 대역폭이다.

본 논문에서는 외삽 알고리즘인 AR 기법 또는 제로 패딩 기법을 이용하여 각 채널을 보간한다. AR 기법은 데이터 진행 배열순서가 과거 데이터 또는 미래 데이터를 예측하여 선형 결합으로 표현되는 선형 예측 모델을 기반으로 한다.  $M$ 개의 산란점을 가지는 표적으로부터 산란되어 나오는 RCS(Radar Cross Section) 데이터  $z_n$ 은 주파수

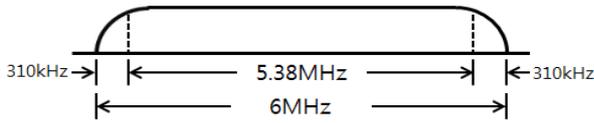


그림 1. VSB 채널 스펙트럼의 보호 영역과 점유 대역폭  
Fig. 1. The guard band and occupied bandwidth of the VSB channel spectrum.

또는 각도 영역에서 과거 데이터를 결합하거나, 미래 데이터를 결합하여 표현할 수 있다. 이때 각도 영역은 매우 작다고 가정한다. 과거 데이터 결합 예측은 식 (1)과 같으며, 미래 데이터 결합 예측은 식 (2)와 같다.

$$\overline{z}_n = - \sum_{i=1}^M a_i z_{n-i}, \quad n = M+1, M+2, \dots, N \quad (1)$$

$$\overline{z}_n = - \sum_{i=1}^M a_i^* z_{n+i}, \quad n = 1, 2, \dots, N-M \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에서  $a_i$ 는 AR 계수를,  $M$ 은 AR 차수를,  $N$ 은 데이터 샘플을 나타내며, 식 (2)에서 \*는 공액 복소수를 나타낸다. 과거 데이터 예측 오차와 미래 데이터 예측 오차는 각각 구했던 식 (1)과 식 (2)를 RCS 데이터인  $z_n$ 에 뺀 값으로 식 (3) 및 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$e_n^{fo} = z_n - \overline{z}_n = \sum_{i=1}^M a_i z_{n-i}, \quad n = M+1, M+2, \dots, N \quad (3)$$

$$e_n^{back} = z_n - \overline{z}_n = \sum_{i=1}^M a_i^* z_{n+i}, \quad n = 1, 2, \dots, N-M \quad (4)$$

식 (3)은 과거 데이터 예측 오차이며, 식 (4)는 미래 데이터 예측 오차이다. 여기서  $a_0$ 은 1이며, AR 계수인  $a_i$ 를 추출하기 위해 식 (3)과 식 (4)의 합인 식 (5)의 값을 최소로 해야 한다.

$$E_M = \frac{1}{2} \sum_{l=M+1}^N |e_n^{fo}|^2 + |e_n^{back}|^2 \quad (5)$$

식 (5)의 값을 최소로 맞추기 위한 기법으로는 Burg 알

고리즘과 MCM(Modified Covariance Method) 기법 등이 있다. 본 논문에서는 Burg 알고리즘을 사용한다. Burg 알고리즘은 Levinson recursion의 반복 절차를 이용하여 원하는 차수까지 반복해서 계수를 새로 구하는 방법이다. 또한 Burg 알고리즘은 필터가 안정하며, 다른 기법에 비해 성능이 우수하다는 장점을 가지고 있다<sup>[13],[14]</sup>.

### 2-2 제안한 방법

본 논문에서의 수신 신호는 ATSC 표준을 따르는 각각의 DTV 채널 대역에서 획득된 coherent한 RCS 신호를 가정한다. 그림 2와 같이 Burg 알고리즘 또는 제로 패딩 기법을 이용하여 각 채널들 사이의 빈 대역을 보간함으로써 하나의 대역으로 결합하여 그림 3과 같이 대역폭이 확장된 RCS 데이터를 얻는다. 대역폭이 확장된 RCS의 진폭을 정규화하고, IDFT(Inverse Discrete Fourier Transform)를 취하여 거리해상도가 향상된 HRRP를 얻는다<sup>[8]</sup>.

인접한 5개 채널을 융합했다고 가정했을 때, 획득된 HRRP의 거리 해상도는 약 5 m이다. 표적으로 사용되는 일반적인 전투기나 폭격기의 전장은 약 20~30 m이므로 HRRP에서 4~6개의 fourier bin으로 표현된다. 이러한 경우 기존에 알려져 있는 FFT-based CLEAN으로는 정확한 산란점을 추출하기 어렵다. 따라서 획득된 HRRP로부터 정확한 산란점을 추출하기 위하여 경사하강법을 이용한 CLEAN 기법을 사용한다<sup>[9]</sup>. 경사하강법을 이용한 CLEAN 기법은 1 fourier bin 이내에서 산란점을 추출할 수 있는 EP-based CLEAN의 장점을 유지하면서 산란점 추출 속도를 크게 향상시킨 방법이다<sup>[8],[15]</sup>. 표적 인식을 수행하기 위해서는 추출된 산란점으로부터 시 불변(time invariant), 스케일 불



그림 2. 제안된 방법을 이용한 다중 채널 보간  
Fig. 2. Multi-channel interpolation using proposed methods.

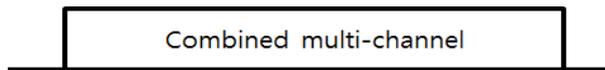


그림 3. 하나의 채널로 결합된 DTV 채널  
Fig. 3. The DTV channel combined into one channel.

변(scale invariant)한 특성벡터를 생성해야 한다. 따라서 특성 벡터는 다음 식 (6)과 같이 정의한다<sup>[10]</sup>.

$$f = [|a_1|, |a_2|, |a_3|, |a_4|, d_1, d_2, d_3] \quad (6)$$

여기서  $|a_1|, |a_2|, |a_3|, |a_4|$ 는 순서대로 정렬된 산란점 크기의 절대값이며,  $d_1$ 은  $a_1$ 과  $a_2$  사이의 거리,  $d_2$ 는  $a_1$ 과  $a_3$  사이의 거리,  $d_3$ 는  $a_1$ 과  $a_4$  사이의 거리이다. 마지막으로, 생성한 특성벡터를 신경망 구분기에 학습시켜 표적인식을 수행한다.

### III. 표적 인식 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 제안한 방법을 통한 표적 인식의 성능을 확인하기 위해 제안한 방법과 각 송신소의 단일 채널 주파수를 이용한 표적 인식 성능을 비교한다. 수동형 레이더로써 잘 동작하기 위해서는 송신기의 출력이 커야 하며, 다중 경로에 의한 효과를 최소화하기 위하여 지형적으로 매우 높은 곳에 안테나가 위치해야 한다. DTV 방송 시설은 크게 송신소와 중계소로 나눌 수 있다. 이 중 송신소는 국가 기간망으로써 넓은 지역에 방송을 하기 때문에 산꼭대기 같은 높은 곳에 위치하고 있으며, 최소한 1 kW 이상의 송신출력을 가지고 있다. 실제 국내에서 운용하고 있는 송신소들 중 이러한 조건을 만족하고, 제안된 방법을 적용하기에 적합한 형태의 송신 주파수 대역을 가지고 있는 관악산, 용문산, 견월악 송신소를 선정하였으며, 해당 송신소의 신호를 사용하는 수동형 레이더를 가정하였다. 이때, 송신기와 수신기의 위치는 동일한 위치에 있다고 가정하였다<sup>[17]</sup>. 송신기의 채널들은 ATSC 표준에 따라 각 채널당 6 MHz의 대역폭과 620 kHz의 보호 영역을 갖도록 주파수 대역을 설정하였다. 시뮬레이션에 사용한 3개 송신소의 채널들의 배치 형태는 그림 4와 같다.

표적 인식 시뮬레이션에 사용된 표적은 총 4종으로 표적 A와 B는 일반전투기, 표적 C는 스텔스 전투기, 표적 D는 스텔스 폭격기이며, 실제 크기와 흡사한 실스케일 3D 캐드모델을 사용하였다<sup>[16]</sup>. 표적의 RCS를 획득하기 위해 전자기 해석 툴인 FEKO를 이용하였다. RCS 신호는 주파수 영역에서 512포인트로 샘플링 하였다. 편파각은

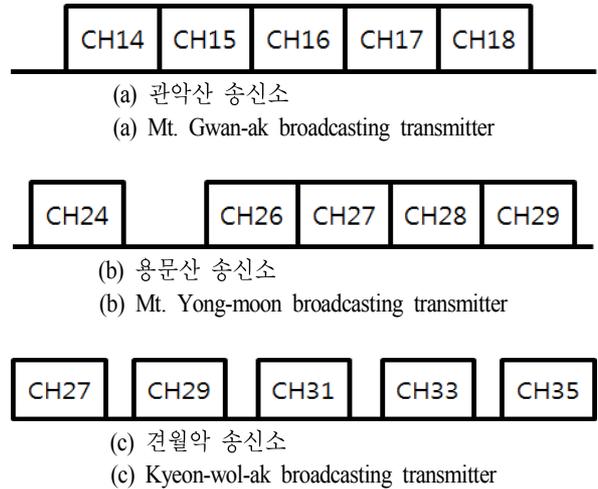


그림 4. 각 송신소의 채널  
Fig. 4. Channels at each broadcasting transmitters.

90°로서, 수평 선형 편파만을 고려하였으며, 측면각은 0°부터 360°까지 361개의 각도에 대하여 계산하였다. 표적은 매우 먼 거리에 위치한다고 가정하여 고도각을 0°로 근사하였다. 해석 방법은 PO(Physical Optics)를 사용하였다.

본 논문에서의 시뮬레이션 과정은 다음과 같다. 먼저 수동형 레이더로 사용하기에 적합한 송신소를 선택하였다. 선택한 송신소의 다중채널을 Burg 알고리즘 또는 제로 패딩 기법을 이용하여 융합함으로써 HRRP를 획득하였다. 그 후 경사하강법을 이용한 CLEAN 알고리즘을 사용하여 산란점을 추출하고, 식 (6)과 같은 형식의 특성벡터를 각각 생성하였다. 생성한 특성벡터는 다중 신경망 구분기에 학습 데이터로 넣어 학습을 시켰다. 이 때 사용한 학습 데이터의 특성벡터는 전체 표적과 전체 측면각 모두를 고려하였으며, 잡음이 없는 환경에서 추출한 특성벡터를 사용하였다. 테스트 데이터는 PO 방법을 통해 구해진 RCS 데이터에 백색 가우시안 잡음을 추가한 뒤, 학습 데이터와 동일한 방법으로 특성벡터를 생성하여 표적 인식 실험을 하였다. 제안된 방법의 표적 인식 성능을 확인하기 위해 각 송신소마다 주파수 대역이 가장 높은 단일 채널 주파수를 이용하여 위와 같은 방식으로 표적 인식 실험을 하였다. 또한 표적 인식 실험의 신뢰성을 높이기 위하여 각 SNR에 대하여 50회의 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하고, 표적 인식 성공률의 평균을 구하였다. 그

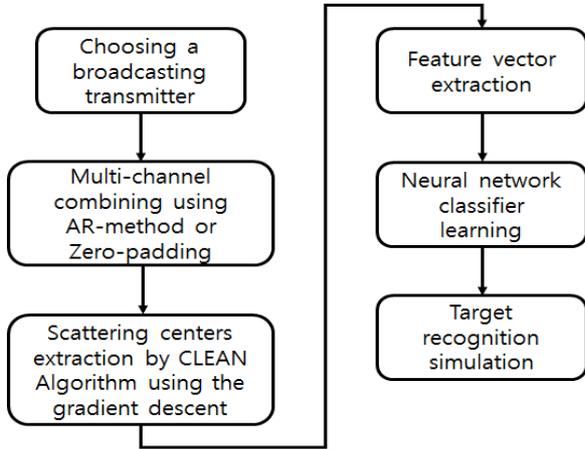
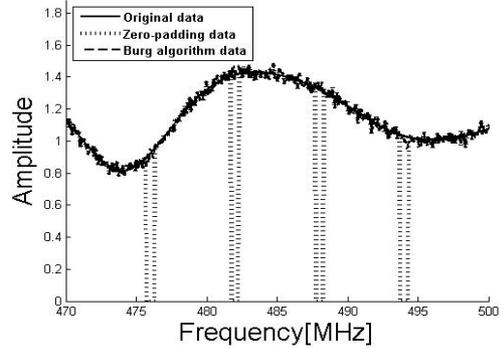


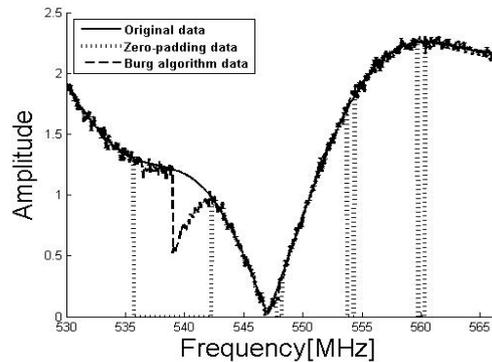
그림 5. 표적 인식 시뮬레이션 과정  
Fig. 5. Target recognition simulation process.

그림 5는 표적 인식 시뮬레이션 과정을 나타낸 그림이다. 그림 6은 각 송신소의 주파수 대역에 대하여 표적 A의 RCS 데이터를 Burg 알고리즘과 제로 패딩 기법을 이용하여 보간한 결과와 PO 방법을 통해 계산한 원본 RCS 데이터를 비교한 그림이다. Burg 알고리즘을 사용하여 보간하였을 때 관악산 송신소의 경우, 보호 영역 부분만 보간하면 되므로 원본 RCS 데이터와 거의 흡사하게 복원되었다. 하지만 용문산, 견월악 송신소의 경우 채널간의 빈 대역이 존재하며, 빈 대역을 보간하는 데에 있어 잡음에 의해 오차가 생김을 알 수 있다. 특히 용문산 송신소의 경우에는 빈 대역이 한 구간 밖에 없음에도 불구하고, 보간이 잘 이루어지지 않았다. 반면, 제로 패딩 기법은 빈 대역의 RCS 데이터 값을 0으로 하기 때문에 빈 대역이 많을수록 원본 RCS 데이터와 많은 차이가 나타나지만, Burg 알고리즘과는 달리 빈 대역을 보간하는 데에 있어 잡음에 의한 오차는 발생하지 않았다. 이와 같이 각 송신소의 채널들을 융합한 후 그림 5와 같은 과정으로 표적 인식 시뮬레이션을 수행하였다.

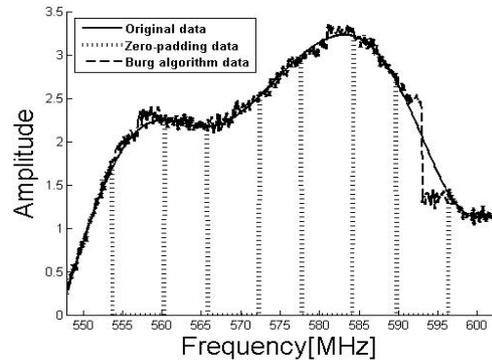
시뮬레이션 결과, SNR이 40 dB인 환경에서 Burg 알고리즘을 사용할 경우, 3개의 송신소 모두에서 85 % 이상의 표적 인식 확률을 보였으며, 제로 패딩 기법을 사용할 경우, 견월악 송신소에서는 73.18 %, 나머지 두 개의 송신소에서는 85 % 이상의 표적 인식 확률을 보였다. 그림 7은 각 송신소에서의 표적 인식 확률이다.



(a) 관악산 송신소  
(a) Mt. Gwan-ak broadcasting transmitter



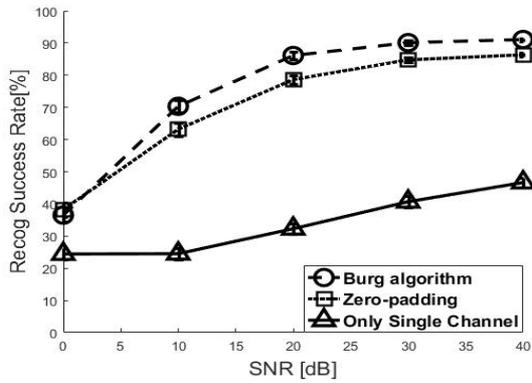
(b) 용문산 송신소  
(b) Mt. Yong-moon broadcasting transmitter



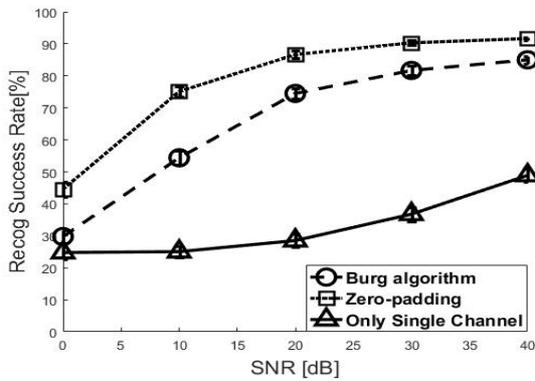
(c) 견월악 송신소  
(c) Kyeon-wol-ak broadcasting transmitter

그림 6. 각 송신소에서의 다중 채널 복원 결과(표적=A, 측면각=0°, SNR=30 dB)

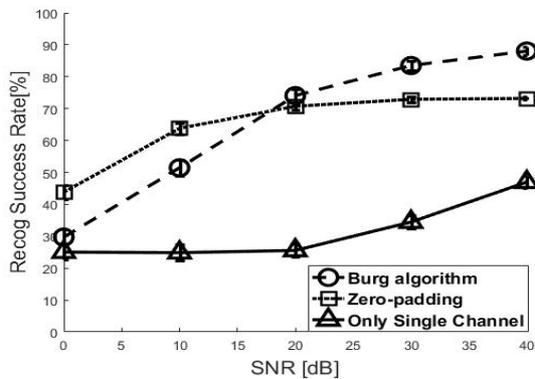
Fig. 6. Multi-channel recovery result at each broadcasting transmitter(Target=A, Aspect angle=0°, SNR= 30 dB).



(a) 관악산 송신소  
(a) Mt. Gwan-ak broadcasting transmitter



(b) 용문산 송신소  
(b) Mt. Yong-moon broadcasting transmitter



(c) 견월악 송신소  
(c) Kyeon-wol-ak broadcasting transmitter

그림 7. 각 송신소에서의 표적 인식 확률  
Fig. 7. Target recognition probability at each broadcasting transmitters.

Burg 알고리즘을 사용할 경우, 관악산 송신소에서 91.11 %로 가장 높은 표적 인식 확률이 나왔으며, 제로 패딩 기법을 사용할 경우, 용문산 송신소에서 91.67 %로 가장 높은 표적 인식 확률을 보였다. 보간해야 할 빈 대역이 가장 많은 견월악 송신소의 경우, 다른 송신소에 비해 낮은 표적 인식 확률을 보였다. 반면, 단일 채널 주파수를 이용할 경우, 모든 송신소에서 표적 인식 확률이 50 % 이하였다. 따라서 3개의 송신소 모두 제안된 방법인 AR 기법 또는 제로 패딩 기법을 사용하여 표적 인식을 하였을 경우가 단일 채널 주파수를 사용할 경우보다 더 높은 표적 인식 성능을 갖는 것을 알 수 있으며, 관악산 송신소와 견월악 송신소의 경우에는 AR 기법이, 용문산 송신소의 경우에는 제로 패딩 기법이 더 높은 표적 인식 확률을 보였다. 또한 그림 7을 보면 알 수 있듯이, 관악산 송신소의 경우, 채널들이 모두 인접해 있으므로 보간해야 할 영역이 적기 때문에 AR 기법과 제로 패딩 기법이 비슷한 표적 인식 확률을 가짐을 알 수 있다. 반면 용문산 송신소의 경우 채널간의 빈 대역이 한 구간만 존재하였지만, Burg 알고리즘의 경우 잡음에 민감하여 보간 오차가 발생하였다. 반면, 제로 패딩 기법의 경우 잡음에 의한 보간 오차가 발생하지 않았으므로 제로 패딩 기법이 더 높은 표적인식 확률을 보였다. 마지막으로 견월악 송신소의 경우에는 보간할 영역이 가장 많았으며, AR 기법을 이용하여 보간하였을 경우 0~20 dB 사이에는 제로 패딩 기법보다 낮은 표적 인식 확률을 보였다. 그러나 20 dB 이상부터 보간이 잘 이루어짐에 따라, 제로 패딩 기법보다 더 높은 표적 인식 확률을 보임을 알 수 있다. 따라서 관악산 송신소와 견월악 송신소와 같이 AR 기법을 사용하여 보간이 잘 이루어졌을 경우 제로 패딩 기법보다 더 높은 표적인식 확률을 보였지만, 용문산 송신소와 같이 AR 기법을 사용하여 보간이 잘 이루어지지 않았을 경우 제로 패딩 기법이 더 높은 표적 인식 확률을 보였다.

표 1과 2는 견월악 송신소에서 SNR이 30 dB인 환경일 경우, AR 기법 또는 제로 패딩 기법을 적용하여 표적 인식을 수행하였을 때의 혼동 행렬(confusion matrix)이다. AR 기법을 사용하였을 때 표적 B의 경우 85.85 %로 다른 표적에 비해 가장 높은 구분 확률을 보였다. 또한 나머지 표적 모두 80 % 이상의 표적 구분확률을 가졌으며, 다른 표적

표 1. AR 방법을 이용한 각 표적간의 혼동 행렬 [%](송신소: 견월악, SNR: 30 dB)

Table 1. Confusion matrix of each target using AR method. [%](Broadcasting transmitter: Kyeon-wol-ak, SNR: 30 dB).

Actual target	Classification			
	Target A	Target B	Target C	Target D
Target A	84.64	8.31	3.92	3.14
Target B	5.97	85.85	3.34	4.84
Target C	6.32	7.69	81.53	4.46
Target D	5.84	8.72	4.46	80.97

표 2. 제로 패딩 기법을 이용한 각 표적간의 혼동 행렬 [%](송신소: 견월악, SNR: 30 dB)

Table 2. Confusion matrix of each target using zero-padding[%](Broadcasting transmitter: Kyeon-wol-ak, SNR: 30 dB zero-padding).

Actual target	Classification			
	Target A	Target B	Target C	Target D
Target A	67.96	6.04	8.36	7.64
Target B	16.69	67.19	10.08	6.03
Target C	11.79	10.88	68.46	8.87
Target D	9.81	8.92	9.97	71.31

으로 혼동할 확률이 모두 10 % 미만이었다. 반면, 제로 패딩 기법을 이용하였을 경우, 표적 D가 71.31 %로 다른 표적에 비해 가장 높은 구분 확률을 보였지만, AR 기법에 비해 낮은 구분 확률을 보였다. 또한 나머지 표적들은 표적 구분 확률이 60~70 %이며, 표적 B와 표적 C의 경우, 다른 표적으로 혼동하는 확률이 10 % 이상 나오는 경우가 존재하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 DTV 기반의 수동형 레이더에서 다중 채널을 융합하여 표적 인식 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 효과적으로 검증하기 위하여 표적 인식 실험을 수행하였다. 이때 실제 국내에서 운용되고 있는 관악산

송신소, 용문산 송신소, 견월악 송신소의 주파수 대역과 4종의 항공기 실스케일 3D 캐드모델을 이용하였다. 시뮬레이션 결과, 제안한 방법을 이용하였을 경우의 표적 인식 확률이 각 송신소의 단일 채널 주파수를 이용하였을 경우보다 크게 향상된 것을 확인할 수 있었다. 특히 관악산 송신소와 견월악 송신소의 경우 AR 기법이, 용문산 송신소의 경우 제로 패딩 기법이 더 높은 표적 인식 확률을 보였다.

#### References

- [1] H. D. Griffiths, N. R. W. Long, "Television-based bistatic radar", *IEE Proc. F-Communications, Radar and Signal Processing*, vol. 133, no. 7, pp. 649-657, Dec. 1986.
- [2] H. D. Griffiths, C. J. Baker, "Passive coherent location radar systems. Part 1: performance prediction", *IEE Proc. Radar Sonar and Navigation*, vol. 152, no. 3, pp. 153-159, Jun. 2005.
- [3] 이승재, 배지훈, 정성재, 양은정, 김경태, "바이스테틱 레이더를 이용한 이동표적에 대한 표적식별 성능 분석", *한국전자과학회논문지*, 27(2), pp. 198-207, 2016년 2월.
- [4] P. E. Howland, "Target tracking using television-based bistatic radar", *IEE Proc. Radar Sonar Navigation*, vol. 146, no. 3, pp. 166-174, 1999.
- [5] D. Poullin, "Passive detection using broadcasters(DAB DVB) with CODFM modulation", *IEE Proc. Radar Sonar and Navigation*, vol. 152, no. 3, pp. 143-152, Jun. 2005.
- [6] A. S. Tasdelen, H. Koymen, "Range resolution improvement in passive coherent location radar systems using multiple FM radio channels", *Proc. of IET Forum on Radar and Sonar*, pp. 23-31, Nov. 2006.
- [7] A. Macaveiu, "Discrete spectra frequency resolution improvement", *2012 10<sup>th</sup> International Symposium Electronics and Telecommunications*, pp. 339-342, Nov. 2012.
- [8] Y. J. Choi, I. S. Choi, "High resolution range profile construction for DTV-based passive radar using Burg's method", *Proceedings of Symposium of the Korean Insti-*

- tute of Communications and Information Sciences*, vol. 60, pp. 198-199, Jun. 2016.
- [9] Y. J. Choi, I. S. Choi, "A novel fast CLEAN algorithm using the gradient descent method", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 59, no. 5, pp. 1018-1022, May 2017.
- [10] 이승재, 최인식, 채대영, "특성 벡터 융합을 이용한 레이더 표적 인식 성능 향상에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 24(9), pp. 928-935, 2013년 9월.
- [11] 이성준, 이승재, 최인식, "바이스태틱 레이더 측정 신호를 이용한 표적 인식에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 23(8), pp. 1002-1009, 2012년 8월.
- [12] ATSC Digital Television Standard-Part 2: RF/Transmission System Characteristics, Advanced Television Systems Committee A/53 Part 2, 2011.
- [13] 배지훈, "RCS 데이터 외삽 알고리즘을 이용한 표적 구분 성능향상에 관한 연구", 포항공과대학교 대학원 석사학위논문, 2001년 12월.
- [14] 박세훈, 최인식, 조병래, " $\omega$ -k 알고리즘을 이용한 SAR 영상의 방위각 방향 외삽 기법 연구", 한국전자과학회논문지, 23(8), pp. 1014-1017, 2012년 8월.
- [15] I. S. Choi, H. T. Kim, "One-dimensional evolutionary programming based CLEAN", *IEE Electronics Letters*, vol. 37, pp. 400-401, Mar. 2001.
- [16] 박치환, 최인식, 채대영, "HF 대역 모노스태틱 및 바이스태틱 레이더의 데이터 압축 성능 비교", 한국정보기술학회논문지, 14(11), pp. 59-67, 2016년 11월.
- [17] KBS 방송수신 안내, [Online]. Available: <https://receiveguide.kbs.co.kr/service.do?cat=3>

### 설 승 환



2017년 2월: 한남대학교 전자공학과 (공학사)  
 2017년 3월~현재: 한남대학교 전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] RADAR 신호처리

### 최 인 식



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

2004년~2007년: 국방과학연구소 선임연구원  
 2007년~현재: 한남대학교 전자공학과 교수  
 [주 관심분야] RADAR 신호처리, RADAR 시스템 설계, RCS 해석 및 분석

### 최 영 재



2013년 2월: 한남대학교 전자공학과 (공학사)  
 2016년 3월~현재: 한남대학교 전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] RADAR 신호처리, 표적인식