

# HRR Profile을 이용한 이동 표적에 대한 표적 식별 성능 분석

## Analysis of Target Identification Performances Based on HRR Profiles against the Moving Targets

박종일 · 정상원 · 김경태 · 전종훈\* · 배준우\*

Jong-Il Park · Sang-Won Jung · Kyung-Tae Kim · Jong-Hoon Chun\* · Jun-Woo Bae\*

### 요 약

HRR(High Resolution Range) profile은 표적의 고유한 전자기학적 산란 특성을 1차원 레이더 영상으로 보여줄 뿐만 아니라, 잡음에 강인하면서 실시간으로 획득 가능하기 때문에 비행 표적을 식별하기 위한 레이더 신호로 많이 이용되고 있다. 하지만 HRR profile은 레이더와의 상대적인 각도에 대해 민감하게 변하기 때문에 하나의 표적에 대한 훈련 데이터베이스를 구축하려면 엄청난 양의 HRR profile이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 표적의 비행 기동 시나리오에 따른 훈련 데이터베이스 구축 방법을 기술한다. 이 방법을 사용하면 적은 양의 훈련 데이터베이스로도 높은 식별 성능을 얻을 수 있다.

### Abstract

HRR(High Resolution Range) profiles show one-dimensional radar images including electromagnetic scattering phenomena of a target. Thus, they are not only robust to noise, but also easily obtainable in a real-time. However, in order to construct a training database for the success of radar target identification, a huge amount of HRR profiles are needed because HRR profiles are highly dependent on the relative angle between the radar and the target. In order to alleviate this difficulty, a database construction method based on the scenarios of target's movement is proposed. The proposed method is able to provide a reliable target identification performance even with a small amount of training database.

Key words : HRR Profile, Radar, Target Identification, Classifier

### I. 서 론

공중과 해상, 지상의 피아 표적을 식별하고자 할 경우, 표적에 대한 물리적 특징을 스스로 얻어야 한다. 물리적 특징을 얻기 위해 광학 영상, 적외선 영상, 음파, 레이더 신호들이 많이 사용되고 있다. 그 중에서도 먼 거리를 전파할 수 있고 날씨에 관계없이 사용할 수 있는 레이더 신호를 이용한 표적 식별에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

레이더 신호를 이용한 표적 식별에 있어 중요한

사항은 신호에 표적의 고유한 물리적 특성을 얼마나 많이 담고 있으며 얻어진 레이더 신호에 포함된 특성 중에서 표적 식별에 유용한 정보를 어떻게 추출할 것이냐. 그리고 얼마나 빠르게 신호를 획득하고 식별할 수 있느냐 하는 것이다. 표적 식별에 사용될 수 있는 레이더 신호로는 HRR(High Resolution Range) profile, SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상, ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) 영상, 고유 주파수(natural frequency), 시간-주파수(time-frequency) 신호 그리고 JEM(Jet Engine Modulation) 특성 등이 있다.

「이 연구는 삼성탈레스(주)의 연구비의 지원으로 연구되었음.」

영남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Yeungnam University)

\*삼성탈레스(주)(Samsung Thales)

· 논문 번호 : 20081127-149

· 수정완료일자 : 2009년 1월 21일

이러한 레이더 신호 중에서 지대공 레이더를 이용한 표적 식별에 쓰일 수 있는 신호에는 HRR profile과 ISAR 영상이 있다. 하지만 ISAR 영상을 획득하기 위해서는 오랜 관찰 시간과 복잡한 신호 처리 과정이 필요하다. 하지만 HRR profile은 잡음에 강인하면서 실시간으로 획득이 가능하다는 장점이 있다. HRR profile은 표적에 대한 RCS(Radar Cross Section)를 레이더와 표적 사이의 가시선(line of sight)에 투사시킨 1차원 영상으로 표적의 기하학적인 모양 및 재질에 따라 달라지기 때문에 표적 식별에 사용될 수 있다. 하지만 HRR profile은 관측각(aspect angle)에 민감하게 변한다. 그 이유는 레이더에 대해서 동일한 위치에 있는 산란점들이 표적의 이동에 의해 보강 간섭 또는 상쇄 간섭을 일으키기 때문이다. 그래서 하나의 표적의 모든 관찰 각도에 대한 데이터 베이스를 구축하려면 수백만 개의 HRR profile이 필요하다. 또한, 하나의 HRR profile은 수백 개의 데이터로 이루어져 있다. 이러한 점들을 고려한 특성 벡터 추출 및 훈련 데이터베이스 구축이 필요하다.

본 논문에서는 HRR profile을 이용한 비행 표적 식별을 위해 표적 기동을 고려한 데이터베이스 구성을 통해 성능 향상에 대한 연구를 수행한다.

## II. HRR Profile

일반적으로 스텝 주파수(steped frequency) 파형을 사용하는 레이더 환경에서는 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 통하여 HRR profile을 쉽게 얻을 수 있다. 하지만 대부분의 추적, 탐지, 영상 레이더는 칩 펄스(chirp pulse) 레이더를 사용하기 때문에 본 연구에서는 칩 펄스 레이더 환경을 가정하여 연구하였다. 칩 펄스 레이더 환경에서는 HRR profile은 정합 필터 과정을 통해 생성된다. 이때, HRR profile의 해상도는 다음과 같은 식으로 결정된다.

$$AR = \frac{c}{2 \cdot BW} \quad (1)$$

여기서,  $c$ 는 빛의 속도,  $BW$ 는 칩 신호의 주파수대역 폭이다. HRR profile을 이용한 표적 식별은 주어진 HRR profile의 해상도에 영향을 많이 받는다. 높은 해상도의 HRR profile을 이용하면 표적 식별 성능을

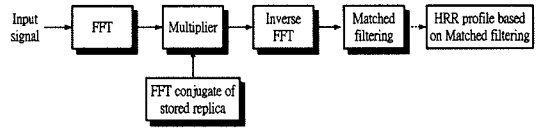


그림 1. 정합 필터링 과정을 이용한 고해상도 HRR profile을 생성하는 과정

Fig. 1. The procedure of HRR profile generation based on matched filtering.

향상시킬 수 있다. 하지만 높은 해상도의 HRR profile을 얻기 위해서는 광대역 레이더를 이용해야 하는 단점이 있다.

그림 1은 정합 필터링을 통해 HRR profile을 획득하는 과정을 보여준다.

## III. 표적 기동 시나리오

일반적인 표적 식별 훈련 데이터베이스는 고정된 고각(elevation angle)에 대해 방위각(azimuth angle)을 변화시키면서 구축하였다. 하지만, 이러한 기존 방법은 실제 상황과 거리가 멀다. 실제 상황에서 기동하는 표적은 3차원 공간에서 움직이므로 고각과 방위각이 동시에 변한다. 물론,  $360^\circ$  방위각과  $360^\circ$  고각에 대한 HRR profile에 대한 데이터베이스를 구축할 수 있으나, 막대한 양의 데이터베이스가 필요하다. 이는 데이터베이스 구축을 위한 비용 및 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 표적 식별 시간도 길어지게 된다. 그렇기 때문에 표적 기동을 고려한 효율적인 데이터베이스 구축이 필요하다.

실제 비행 상황과 유사한 환경에서 HRR profile을

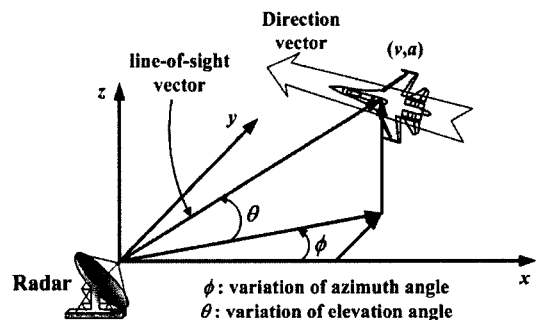


그림 2. 레이더와 표적사이의 관측각

Fig. 2. The aspect angle between the radar and the target.

표 1. 표적 이동 파라미터

Table 1. Target moving parameters.

Direction vector	[-1 0 0]	[-1 1 0]	[0 1 0]
Azimuth angle	0°	45°	90°
Initial position: x	200 km		190, 200, 210, 220 km
Initial position: y	0, 10, 20, 30 km		-30 km
Initial position: z	1, 3, 5, 7 km		

표 2. 칩 펄스 레이더 파라미터

Table 2. Chirp pulse radar parameters.

Center frequency	9.15 GHz
Frequency bandwidth	100, 200, 300 MHz
Pulse width	30 μs
Chirp sampling frequency	500 MHz

생성하기 위하여 그림 2와 같은 비행 상황을 고려한다. HRR profile 생성을 위하여 편이상 x-y-z 공간을 설정하고, 원점 (x, y, z)=(0, 0, 0)에 레이더가 있다고 가정한다. 표적이 x-z 평면과  $\phi(t)$ 의 각도를, x-y 평면과  $\theta(t)$ 의 각도를 이루면서 특정한 방향 벡터로 비행한다고 가정하면 레이더가 표적을 바라보는 상대적인 각도는 시간에 따라 계속해서 변하게 되고, 이로부터 여러 관측각에 대한 HRR profile을 생성할 수 있다. 이렇게 생성된 HRR profile를 이용하여 실제 비행 상황과 유사한 훈련 데이터베이스를 구축할 수 있다.

그림 2에서  $\phi$ 는 표적의 방위각이고,  $\theta$ 는 표적의 고각이 된다. 표적의 방위각은 표적의 x-y 좌표 사이의 식으로 표현이 가능하고, 고각은 표적의 x-y-z 좌표사이의 식으로 표현이 가능하다.

$$\phi = \text{atan}(y/x) + \phi_0 \quad (2)$$

$$\theta = \text{atan}(z/\sqrt{x^2 + y^2}) + \theta_0 \quad (3)$$

여기서,  $\phi_0$ 는 표적의 방향 벡터에 의한 방위각이고,  $\theta_0$ 는 표적의 방향 벡터에 의한 고각이다. 즉, 레이더와 표적 사이의 관측각은 표적의 위치와 표적의 방향 벡터에 의해 결정된다. 일반적으로 표적과 레이더 사이의 관측각은 방위각이 더 큰 영향을 준다. 물론 표적이 레이더에 매우 가까이 있을 경우에는 고각의 변화가 방위각의 변화보다 크지만 표적 식별은 표적이 레이더에 대해 원 거리에 있을 경우에 적용하는 것이 일반적이기 때문에 방위각의 영향이 더 크다.

#### IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 제안된 표적 기동 시나리오 기반의 식별 시뮬레이션을 위한 훈련 데이터 및 시험 데이터 생성을 위한 표적 이동 및 레이더 파라미터가 표 1과 2에 제시되어 있다.

표적 식별 성능 분석을 위한 표적으로는 B737, F14, F18, Rafale, Su35를 선택하였다. 그림 3의 CAD

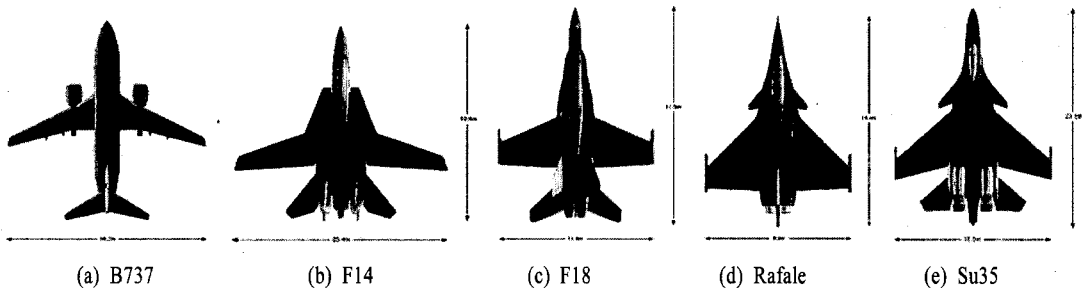


그림 3. 표적의 CAD 모델  
Fig. 3. CAD models of targets.

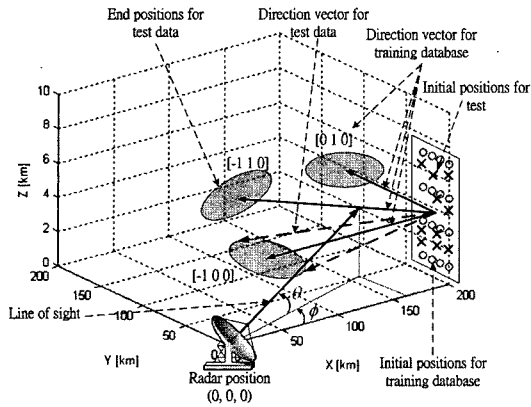


그림 4. 표적 기동 시나리오  
Fig. 4. Moving target scenario.

모형을 이용하여 산란이 많이 발생할 수 있는 부분에 3차원으로 산란원을 배치하여 모델링하였으며 각 산란원의 RCS 값은 위치에 따라 0~1 사이의 값을 부여하였다.

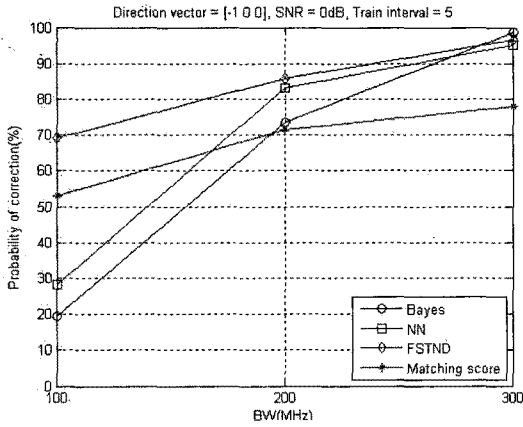
그림 4에서 레이더는 원점(0, 0, 0)에 위치하며, 표적은 레이더에 대해 약 200 km의 초기 위치에서 300 m/s의 일정한 속도로 세 방향으로 200초 동안 60 km의 직선비행을 한다고 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 훈련 데이터를 생성하기 위해 표적은 16개의 고정된 위치(그림 4에서 o)에서 3개의 서로 다른 방향 벡터를 가지고 이동한다. 하지만 시험 데이터의 경우에는 훈련 데이터의 초기 위치에 의해 결정되는 사각형의 평면의 임의의 위치(그림 4에서 x)에서 훈련 데이터의 방향 벡터의 방위각과 고각에 임의의 값(방위각  $-15^{\circ} \sim +15^{\circ}$ , 고각  $-1^{\circ} \sim +4^{\circ}$ )을 각각 더하여 출발한다. 그래서 시험 데이터의 도착 위치는 그림 4에서 타원으로 표시된 평면의 임의의 위치가 된다. 그 결과 시험 데이터는 훈련 데이터의 방향 벡터, 초기 위치, 도착 위치가 다른 데이터로 생성된다. 생성된 데이터를 정합 필터링 과정을 통해 HRR profile을 생성하며, 센트럴 모멘트를 이용하여 특성 벡터를 추출하였다<sup>[1]</sup>. 표적 식별을 위한 구분기로는 통계적인 구분기인 Bayes 구분기, 유클리드 거리를 이용하는 nearest neighbor 구분기, 다중 각도 기법인 FSTND(Feature Space Trajectory Classifier with a New Distance Metric) 구분기<sup>[2]</sup>, 템플릿 기반(template based)의 matching score 구분기를 이용하였다<sup>[3]</sup>. 그리고 시험 데이터에 SNR(Signal to Noise Ratio)이 0, 10

dB의 AWGN(Additive White Gaussian Noise)을 첨가하여 생성하여 각각의 주파수 대역폭에서 3가지의 방향 벡터에 대한 표적 식별 시뮬레이션을 수행하였다.

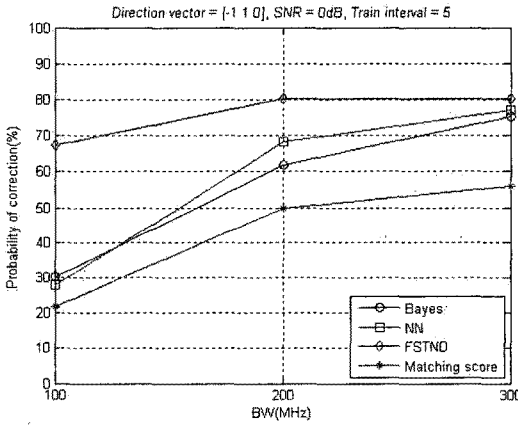
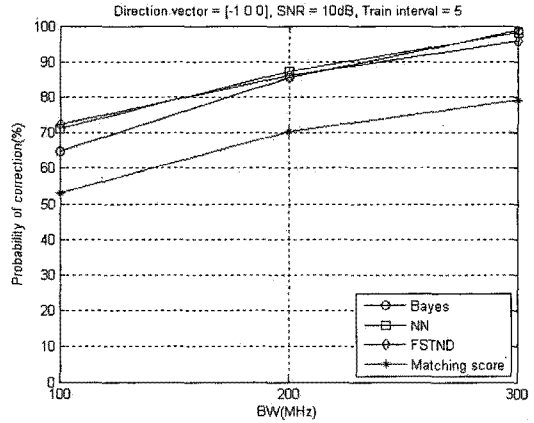
그림 5는 생성한 HRR profile을 이용하여 SNR이 0 dB와 10 dB일 때의 각 방향 벡터에 대한 표적 식별 성능을 보여준다. 주파수 대역폭이 넓어짐에 따라 식별 성능이 향상되는 것을 볼 수 있다. Matching score 구분기의 성능은 다른 구분기에 비해 낮은 것을 볼 수 있으며, SNR이 증가함에도 불구하고 성능 향상이 거의 나타나지 않고 있다. 하지만, 다중 각도 기법인 FSTND 구분기의 성능은 높고, 주파수 대역폭이 100 MHz일 경우에는 다른 구분기들에 비해 더욱 성능이 높다. HRR profile을 특성 벡터로 사용하는 기존의 방법인 matching score 구분기는 방향 벡터에 대해 식별 성능의 편차가 크고, 또한 전체적으로 낮은 성능을 보인다. 이에 반해, 센트럴모멘트를 특성 벡터로 이용하는 다른 구분기들이 상대적으로 높은 식별 성능을 보이며, 그 중에서 다중 각도 기법인 FSTND의 식별 성능이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 특성 벡터의 선택과 다중 각도 기법을 이용함으로써 표적 식별 성능을 높일 수 있다는 것을 보여준다. 훈련 데이터베이스를 구성하는 HRR profile의 수는 하나의 방향 벡터에 대해  $5 \times 40 \times 16 = 3,200$ 개에 불과하다. 결과적으로, 총 9,600개의 HRR profile로 방위각 약  $90^{\circ}$ , 고각  $3^{\circ}$ 의 영역을 표현할 수 있다.

## V. 결 론

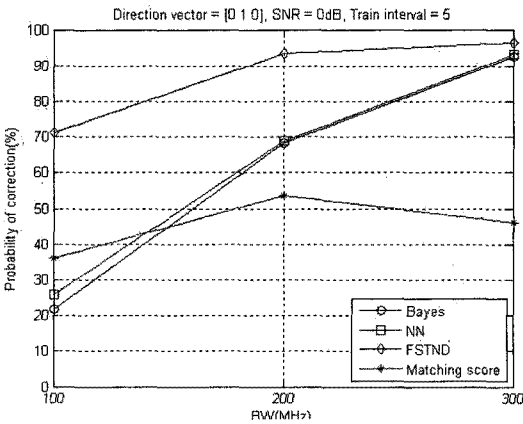
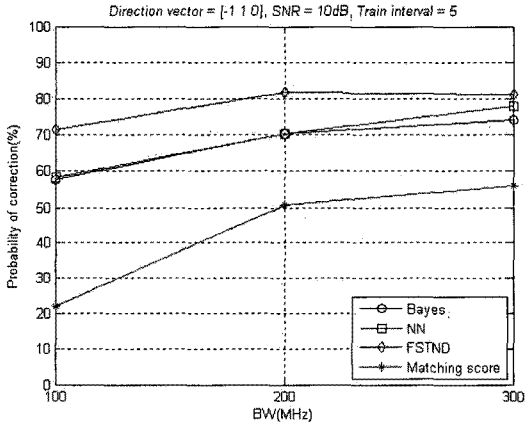
일반적인 전투기의 최대 길이는 약 20 m이다. 전투기에 대한 HRR profile을 표적 식별에 적용하기 위해서는 데이터베이스를 구성하는 HRR profile 사이의 각도가  $0.01^{\circ}$  미만이어야 한다고 알려져 있다<sup>[4]</sup>. 이 경우에 한 표적의 방위각  $90^{\circ}$ , 고각  $3^{\circ}$ 에 대한 훈련 데이터베이스를 구축하면  $90 \times 3 / 0.01^2 = 270$ 만개의 HRR profile이 필요하다. 결국, 다섯 표적에 대한 훈련 데이터베이스를 구축하기 위해서는 총 1,350만개의 HRR profile이 필요하다. 본 논문에서 기술한대로 표적의 기동 시나리오에 따른 훈련 데이터베이스를 구축하면 기존의 훈련 데이터베이스 구축에 필요한 데이터량의  $9,600 / 1,350 = 0.071\%$ 만을 사용하여 표적 식별을 수행할 수 있다.



(a) 방향 벡터: [-1 0 0]  
(a) Direction vector: [-1 0 0]



(b) 방향 벡터: [-1 1 0]  
(b) Direction vector: [-1 1 0]



(c) 방향 벡터: [0 1 0]  
(c) Direction vector: [0 1 0]

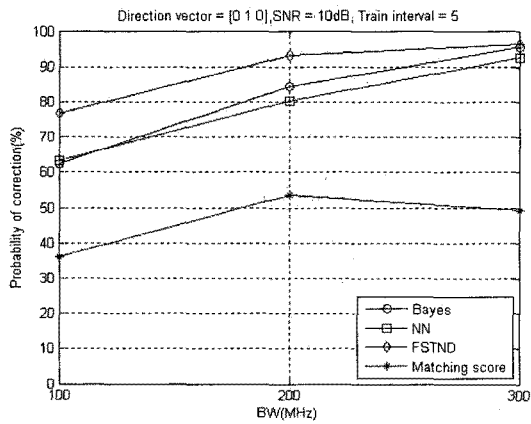


그림 5. 주파수 대역폭 변화에 따른 표적 식별 성능(좌: SNR이 0 dB인 경우, 우: SNR이 10 dB인 경우)  
Fig. 5. Probability of correct identification against frequency bandwidth(left: 0 dB, right: 10 dB).

참 고 문 헌

- [1] K. -T. Kim, D. -K. Seo, and H. -T. Kim, "Efficient radar target recognition using the MUSIC algorithm and invariant features", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 50, no. 3, pp. 325-327, Mar. 2002.
- [2] K. -T. Kim, H. -R. Jeong, "Identification of multi-aspect radar signals based on the feature space trajectory concept", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, no. 11, pp. 3811-3821, Nov. 2005.
- [3] H. J. Li, S. H. Yang, "Using range profiles as feature vectors to identify aerospace objects", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 41, no. 3, pp. 361-268, Mar. 1993.
- [4] Peter Tait, *Introduction to Radar Target Recognition*, The Institution of Electrical Engineers, 2005.

박 종 일



레이더 신호처리

2002년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)

2005년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학석사)

2006년 9월~현재: 영남대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 레이더 표적인식, 레

김 경 태



교 전자정보공학부 전임강사

1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)

1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)

1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)

2002년 3월~2004년 3월: 영남대학교

2004년 4월~2008년 2월: 영남대학교 전자정보공학부 조교수

2008년 3월~현재: 영남대학교 전자정보공학부 부교수

[주 관심분야] 레이더 표적인식, 레이더 영상, 레이더 신호처리, 패턴인식, 스펙트럼 추정 등

정 상 원

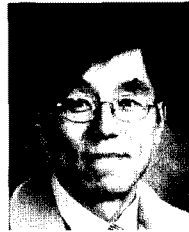


2006년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)

2007년 9월~현재: 영남대학교 전자공학과 석사과정

[주 관심분야] 레이더 영상, 레이더 신호처리

전 중 훈



택연구소

1982년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1985년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)

2000년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1985년 1월~2002년 9월: LG이노

2002년 10월~2004년 10월: 단암시스템(주)

2004년 11월~현재: 삼성탈레스(주) 수석연구원

[주 관심분야] 레이더 시스템 설계, 위상배열 신호처리

배 준 우



2005년 2월: 영남대학교 전자공학  
과 (공학사)

2007년 2월: 영남대학교 전자공학  
과 (공학석사)

2007년 3월~현재: 삼성탈레스(주)  
연구원

[주 관심분야] 레이더 표적인식, 레  
이더 신호처리, 패턴인식