계단 첩 파형(Stepped Chirp Waveform)을 이용한 ISAR 영상 형성 Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging Using Stepped Chirp Waveform

이성현 · 강민석 · 박상홍* · 신승용** · 양은정*** · 김경태

Seong-Hyeon Lee · Min-Suk Kang · Sang-Hong Park* · Seung-Yong Shin** · Eunjung Yang*** · Kyung-Tae Kim

요 약

역 합성 개구면 레이더(Inverse Synthetic Aperture Radar: ISAR) 영상은 레이더를 이용해 전자기파를 방사하여 표적에 맞고 다시 되돌아오는 신호를 이용하여 형성할 수 있으며, 표적의 유무 판별과 식별을 위해 사용하는 보편적인 수단 중 하나이다. 본 논문에서는 계단 첩 파형(Stepped Chirp Waveform: SCW)의 주파수 영역에서의 합성과 서브-샘플링(sub-sampling) 방법을 이용하여 초점이 맞는 고해상도의 ISAR 영상을 형성하는 방법을 소개한다. 기존의 계단 주파수 파형(steped frequency waveform)을 이용하는 방법은 낮은 펄스 반복 주기로 인하여 비모호 거리(unambiguous range)가 짧아 고스트(ghost) 현상이 발생하는 문제점이 발생하지만, 이는 SCW를 이용한 ISAR 영상 형성 방법을 통해 해결할 수 있다. 본 논문에서는 산란점들로 구성된 보잉-737 표적이 속도와 가속도를 가지고 움직인다고 가정한 후 제한한 방법으로 고해상도의 ISAR 영상을 형성하였다.

Abstract

Inverse synthetic aperture radar (ISAR) images can be generated by radar which radiates the electromagnetic wave to a target and receives signal reflected from the target. ISAR images can be widely used to target detection and recognition. This paper proposed a method of generation of high resolution ISAR images by synthesizing frequency spectrums of each stepped chirp waveform in one burst and sub-sampling in frequency domain. This process is performed over entire bursts during coherent processing interval. Conventional ISAR image generation method using stepped frequency waveform has a severe problem of short unambiguous range, leading to ghost phenomenon. However, this problem can be resolved by the proposed method. In simulations, we generate high resolution ISAR image of the moving target which is Boeing-737 aircraft model composed of several ideal point scatterers.

Key words: ISAR, Stepped Chirp Waveform, Sub-Sampling, Translational Motion Compensation

I. 서 론

표적에 대한 역 합성 개구면 레이더(Inverse Synthetic Aperture Radar: ISAR) 영상은 레이더를 이용해 전자기파

를 방사하여 표적에 맞고 다시 되돌아오는 신호를 이용하여 형성할 수 있으며, 표적의 유무 판별과 식별을 위해 사용하는 보편적인 수단 중 하나이다. 이 때 사용하는 대표적인 파형은 계단 주파수 파형(Stepped Frequency Wa-

「이 연구는 국방과학연구소 및 LIG 넥스원의 지원 및 관리로 수행되었습니다.」

포항공과대학교 전자전기공학부(Department of Electrical and Electronic Engineering, Pohang University of Science and Technology)

*부경대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Pukyong National University)

**LIG넥스원 ISR 연구센터(ISR Research Center, LIGnex1)

***국방과학연구소 연구원(Agency for Defense Development)

· Manuscript received June 26, 2014 ; Revised August 18, 2014 ; Accepted August 19, 2014. (ID No. 20140626-02S)

· Corresponding Author: Kyung-Tae Kim (e-mail: kkt@postech.ac.kr)

veform: SFW)이다. SFW 신호를 이용하면 한 버스트(burst) 내에 여러 개의 단일 주파수 파형을 사용하여 각 단일 주파수 파형의 반송 주파수를 점차 증가시키면서 고해상도의 거리 측면도(High Resolution Range Profile: HRRP)를 얻을 수 있으며, 비교적 단순한 하드웨어 구조와 낮은 샘플링 간격을 갖는 특징이 있다^{[1]~[3]}. 그러나, SFW 신호의 한 버스트 내에서 펄스 반복 주기(Pulse Repetition Interval: PRI)가 레이더와 표적 사이 거리로 인해 발생하는 시간적 지연 값보다 작게 되면 레이더의 비모호 거리(unambiguous range)를 벗어나므로 고스트(ghost) 현상이 발생한다^[2]. 또한, SFW 신호의 인접한 단일 주파수 파형 간의 주파수 간격이 크거나, 표적의 HRRP의 길이가 긴 경우에 HRRP들을 코히어런트(coherent)하게 합성하면 영상의 앨리어싱(aliasing)이 생겨 표적의 정확한 탐지 및 식별이 어려워진다^[2]. 이러한 문제들을 해결하기 위해 SFW 신호 대신 계단 첩 파형(Stepped Chirp Waveform: SCW)의 신호를 이용할 수 있다^[3].

SCW 신호를 이용하면 첩 파형(chirp waveform)을 이용하는 경우와는 다르게 한 버스트 내에 시간에 따라 주파수가 선형적으로 증가하는 서브-첩(sub-chirp) 파형들을 여러 개 송수신하여 다운-컨버전(down-conversion)과 정합-필터링(matched-filtering) 과정을 거친 후 주파수 영역(frequency domain)에서 합성한다. 이렇게 하나의 HRRP에 대한 주파수 합성 스펙트럼을 얻은 후 이를 역-고속 푸리에 변환(Inverse-Fast Fourier Transform: IFFT)을 수행하면 HRRP를 얻을 수 있다. 이렇게 버스트 개수만큼 형성한 HRRP를 코히어런트하게 합성하여 ISAR 영상을 형성한다. 이렇게 SCW 신호를 이용하여 형성한 ISAR 영상은 SFW 신호를 이용하였을 경우보다 상대적으로 큰 PRI 값을 가지기 때문에 비모호 거리가 증가하여 고스트 현상이 발생하지 않음과 동시에 상대적으로 높은 샘플링 간격으로 인해 영상의 앨리어싱 문제를 해결할 수 있다.

II. 본 론

2-1 SCW 신호를 통한 HRRP 생성

ISAR 영상 형성에 사용하는 SCW 신호의 송신 서브-첩 펄스는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

그림 1. 한 버스트 내 서브-첩 신호들의 시간-주파수 그래프

Fig. 1. The t-f plot of the sub-chirp pulses in one burst.

$$s_n(t) = p(t - nT) \exp[j2\pi(f_0 + n\Delta f)(t - nT)] \quad (1)$$

$$p(t) = \text{rect}(t/T) \exp(j\pi Kt^2) \quad (2)$$

식 (1), (2)에서 f_0 는 시작 주파수, $n(0 \sim N-1)$ 은 펄스 번호, T 는 PRI, K 는 서브-첩 펄스의 시간에 따라 선형적으로 변하는 주파수에 대한 첩 기울기(chirp rate)를 나타낸다. Δf 는 서로 인접한 서브-첩 펄스 간의 주파수 스텝 간격이다. 한 버스트 내에는 총 N 개의 서브-첩 펄스들이 존재하며, 각각의 서브-첩 송신신호 $s_n(t)$ 는 해당하는 서브-첩 대역폭 B_1 만큼의 주파수 대역을 가진다(그림 1).

각각의 송신 펄스들은 표적에 맞고 반사되어 다시 레이더에 도달하게 된다. 이때의 m 번째 버스트의 n 번째 수신 서브-첩 신호는 아래의 식 (3)과 같다. 표적은 산란점(point scatterer)으로 구성되어 있다고 가정한다.

$$r_{m,n}(t) = \sum_{k=1}^C \sigma_k s_n(t - t_{m,k}) \quad (3)$$

위의 식에서 σ_k 는 산란점의 반사율(reflectivity) 값이며, C 는 표적의 총 산란점 개수이다. $t_{m,k} = 2r_{m,k}/c$ 는 레이더와 산란점 간의 거리인 $r_{m,k}$ 에 대응하는 시간 지연(time delay)값이다. 한 버스트 내에 표적은 정지한다고 가정(stop & go approximation)하기 때문에 시간 지연 값은 n 의 값에 영향을 받지 않는다. 이렇게 수신 서브-첩 펄스

신호 $r_{m,n}(t)$ 를 수식적으로 모델링할 수 있다.

m 번째 버스트에 대해서 총 N 개의 서브-칩 펄스들이 존재하기 때문에 한 버스트에 해당하는 HRRP를 얻기 위해서는 N 개의 서브-칩 펄스들을 모두 합성해야 한다. 이 경우 $r_{m,n}(t)$ 와 송신 서브-칩 펄스를 다운-컨버전 후, 정합-필터링 과정을 거친 다음 주파수 영역에서 합성한다. 다운-컨버전 과정을 수식적으로 나타내면 아래의 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} r_{m,n}^b(t) &= r_{m,n}(t) \times \exp[-j2\pi(f_0 + (n-1)\Delta f)] \\ s_n^b(t) &= s_n(t) \times \exp[-j2\pi(f_0 + (n-1)\Delta f)] \end{aligned} \quad (4)$$

위의 식에서 $r_{m,n}^b(t)$ 와 $s_n^b(t)$ 는 각각 $r_{m,n}(t)$ 와 $s_n(t)$ 의 다운-컨버전 후 형태이다. 이 펄스들에 대해 정합-필터링을 수행하면 아래의 식 (5)와 같다^[1].

$$y_{m,n}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} r_{m,n}^b(\tau) s_n^{b*}(\tau - t) d\tau \quad (5)$$

위의 연산은 시간 영역에서 수행한 정합-필터링이지만 실제로는 효율적인 연산을 위하여 주파수 영역에서 정합-필터링을 수행한다. 이를 나타내면 아래의 식 (6)과 같다.

$$Y_{m,n}(f) = R_{m,n}^b(f) S_n^{b*}(f) \quad (6)$$

위의 식에서 $Y_{m,n}(f)$ 는 m 번째 버스트의 n 번째 서브-칩 펄스에 해당하는 정합 필터링의 결과 주파수 스펙트럼으로서 $R_{m,n}^b(f)$ 는 수신기로부터 얻은 m 번째 버스트의 n 번째 서브-칩 펄스를 다운-컨버전하여 얻은 주파수 스펙트럼이며, $S_n^{b*}(f)$ 는 n 번째 송신 서브-칩 펄스의 다운-컨버전 결과에 켄주게이션(conjugation)을 수행한 주파수 스펙트럼이다. m 번째 버스트에 대한 전체 주파수 스펙트럼을 얻기 위해서는 위의 과정을 n 개의 서브-칩 펄스 모두에 대해 진행하여 주파수 영역에서 합성해야 한다. 이때, 인접한 서브-칩 펄스 간의 주파수 스텝 간격을 고려해야만 한다(그림 2). 이렇게 얻은 m 번째 버스트에 대한 주파수 합성 스펙트럼을 수식으로 표현하면 아래의 식 (7)과 같다.

그림 2. 한 버스트 내의 합성 신호 스펙트럼
Fig. 2. A synthesized spectrum in one burst.

$$Y_m(f) = \sum_{n=1}^N Y_{m,n}(f) * \delta(f - (n-1)\Delta f) \quad (7)$$

위의 식에서 $*$ 는 함수 간의 컨볼루션(convolution)을 $\delta(f)$ 는 델타 함수(delta function)를 의미한다. 위의 식의 결과인 m 번째 주파수 합성 스펙트럼 $Y_m(f)$ 의 최종 주파수 대역 $B = B_1 + (N-1)\Delta f$ 이며(그림 2), $Y_m(f)$ 에 대해 역-고속 푸리에 변환을 수행하면 m 번째 버스트에 대한 HRRP를 얻을 수 있다.

2-2 각 버스트에 해당하는 합성 스펙트럼에서의 서브-샘플링 과정

2-1에서 SCW 신호를 이용하여 각 버스트에 대한 HRRP를 얻는 과정에서 m 번째 버스트에 해당하는 주파수 합성 스펙트럼은 $Y_m(f)$ 은 일정한 간격으로 샘플링 되어 있다(그림 3). 일반적으로, 일정한 샘플링 간격은 송수신하는 서브-칩 신호의 시간 영역에서 좁은 샘플링 간격으로 인해 굉장히 작은 값을 갖는다^[1]. 그림 3에서 원래의 주파수 합성 스펙트럼이 갖고 있는 샘플링 간격을 점선 간의 간격이라 하면, 서브-샘플링 과정을 통해 위의 샘플링 간격을 빨간 굵은 실선의 간격으로 재조정한다. 서브-샘플링 후의 주파수 합성 스펙트럼의 샘플링 간격인 Δf_{sam} 과 최종적인 ISAR 영상의 거리 방향 길이 R_{max} 와의 관계는 아래의 식 (8)과 같다.

$$R_{max} = c/2\Delta f_{sam} \quad (8)$$

그림 3. Δf_{sam} 간격으로 서브-샘플링 한 m 번째 버스트의 합성 신호 스펙트럼

Fig. 3. A synthesized spectrum of m th burst with sub-sampling at intervals of Δf_{sam} .

우리는 식 (8)에 따라 주파수 합성 스펙트럼에서의 샘플링 간격 Δf_{sam} 을 조정하면 ISAR 영상의 거리 방향 길이를 결정할 수 있다. Δf_{sam} 의 간격을 늘림에 따라 ISAR 영상의 거리 방향 길이를 줄일 수 있고, 결과적으로 거리 이동 보상 과정에서 처리하는 연산량이 적어지므로 효율적인 고해상도의 ISAR 영상 형성이 가능하다. 보통 우리가 측정하는 표적의 크기는 100 m를 넘지 않으므로 주파수 샘플링 간격을 1.5 MHz 이상의 값으로 설정하여 서브-샘플링을 수행한다. 하지만 이 간격을 너무 큰 값으로 설정하게 되면, 표적이 ISAR 영상의 크기보다 커지므로 적절한 조정이 필요하다. 이렇게 서브-샘플링한 각각의 합성 스펙트럼을 역-고속 푸리에 변환하여 HRRP를 형성한 후 버스트의 개수만큼 형성된 HRRP들을 코히어런트하게 합성하면 표적의 인식 및 식별에 용이한 관측 표적의 크기에 맞춘 고해상도의 ISAR 영상을 형성할 수 있다.

III. 시뮬레이션 결과

3-1 시뮬레이션 모델 및 파라미터

본 논문에서 시뮬레이션에 사용한 표적은 88개의 산란점으로 구성된 보잉-737 모델이다(그림 4). 시뮬레이션은 모두 MATLAB 프로그램을 이용해 수행하였으며, 레이더와 표적에 대한 파라미터들(표 1)을 이용하여 표적이 실제 비행 시나리오를 가지고 이동하는 경우를 가정한 후 SCW신호를 이용하여 ISAR 영상을 형성하였다. 본론에서 제안한 방법을 통해 모든 버스트에 대해서 합성 스펙

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

시작 주파수	10 GHz
한 버스트 내의 펄스 개수(N)	16
서브-칩 대역폭(B_1)	75 MHz
주파수 스텝(Δf)	31.25 MHz
레이더와 표적 사이 초기 거리	10 km
표적의 속도	306 m/s
표적의 가속도	10 m/s ²
펄스 반복 주파수(PRF, $1/T$)	10 kHz
펄스 폭(T_1)	10 μ s
버스트 개수	256
합성 스펙트럼 내 서브-샘플 개수	256
서브-샘플링 주파수 간격(Δf_{sam})	1.97 MHz
레이더의 가시선과 표적의 이동방향 사이 각도	30°

그림 4. 보잉-737 비행기 단면 모델

Fig. 4. An aspect model of Boeing-737 aircraft.

트럼을 얻은 후(그림 5) 버스트의 개수만큼 존재하는 합성 스펙트럼을 서브-샘플링하여 표적의 크기에 맞게 ISAR 영상의 거리 방향 길이를 줄인다(그림 6).

그림 5와 6에서 가로 축은 샘플링 인덱스(index)를 의미하며, 세로 축은 버스트의 인덱스를 의미한다. 그림 5에서의 샘플링 인덱스 개수는 54,391개였으며, 시뮬레이션

그림 5. 모든 버스트에 대한 주파수 합성 스펙트럼
Fig. 5. Synthesized spectrum of entire bursts.

그림 6. 모든 버스트에 대한 서브-샘플링 후의 주파수 합성 스펙트럼
Fig. 6. Synthesized spectrum of entire bursts with sub-sampling.

상황에서의 주파수 합성 스펙트럼의 총 주파수 대역 $B = B_1 + (N-1)\Delta f \simeq 544$ MHz이다. 이때의 주파수 영역의 샘플링 간격 Δf_{sam} 을 구하게 되면, $506 \times 10^6 / 54,391 \simeq 10$ kHz이었으며, 식 (8)에 의하여 $R_{max} \simeq 15$ km이었다. 이 경우, ISAR 영상의 거리 방향 길이가 표적의 크기에 비해서 너무 크기 때문에 거리 이동 보상 과정에서 처리하는 연산이 많아지므로, 비효율적으로 초점이 맞는 ISAR 영상을 형성한다. 본 시뮬레이션에서는 서브-

샘플링 과정을 거쳐 전체 주파수 합성 스펙트럼의 샘플링 인덱스 개수를 256개로 줄인다. 이로 인해, ISAR 영상 형성에 사용하는 데이터의 개수를 1/212배로 줄여서 효율적인 거리 이동 보상 과정을 통한 ISAR 영상을 형성하였다. 이 경우, Δf_{sam} 의 값은 표 1에 나와 있으며, 식 (8)에 의하여 $R_{max} \simeq 76$ m임을 도출할 수 있다. 이 길이는 표적으로 사용한 보잉-737의 단면 크기보다 큰 값으로 적절한 서브-샘플링 간격을 적용했음을 알 수 있다.

3-2 표적의 거리 이동성분 제거를 위한 거리 이동 보상 과정

본 시뮬레이션에서는 표적이 특정한 속도와 가속도를 가지고 이동하는 상황이기 때문에 SCW 신호 사이에 표적의 거리 이동 성분이 존재한다. 이 때, 우리가 가정할 실제 비행 시나리오에서 한 버스트 내의 N 개의 서브-칩 펄스들을 보내는 시간동안 표적이 이동 거리는 대략 $v \times N \times PRI = 306 \times 16 \times 10^{-5} \simeq 5$ cm이므로, 한 버스트 내에서 표적은 정지해 있다고 가정해도 무방하다. 하지만, 버스트들 간에 존재하는 거리이동성분으로 인해 초점이 맞지 않는 ISAR 영상을 형성하므로, 초점이 맞는 ISAR 영상을 형성하려면 버스트들 간에 존재하는 거리 이동 성분을 제거해야만 한다. 이 거리 이동 성분을 제거하는 과정으로 크게 거리 정렬 과정과 위상 보정 과정으로 나눌 수 있다. 우선, 거리 정렬 과정을 통해 각각의 버스트에 해당하는 HRRP에 존재하는 같은 산란점들을 같은 거리-빈(range-bin)에 위치시킨다. 하지만 버스트 간 잔존하는 위상 오차 성분 때문에 초점이 맞지 않는 ISAR 영상을 형성한다. 이 위상 오차 성분은 거리 정렬 과정으로 미처 제거하지 못한 미세한 거리 이동 성분으로서 위상 보정 과정을 통해 효과적으로 제거할 수 있다. 본 시뮬레이션은 거리 정렬 과정에서는 평균 거리 측면도(average range-profile: ARP) 알고리즘^[4]을 사용하였고, 위상 보정 과정에서는 단계적 접근 방식(Stage-by-Stage Approaching: SSA) 알고리즘^[5]을 사용하여 각 방위각에 대한 거리 이동성분이 제거된 HRRP들을 모은 집합을 형성하였다(그림 7). 이렇게 형성한 집합을 각 거리-빈에 대해 고속-푸리에 변환(Fast Fourier Transform: FFT)을 수행하면 초점이 맞는

그림 7. 거리 이동 성분이 보상된 모든 버스트들에 대한 HRRP들

Fig. 7. The HRRPs of entire bursts after translational motion compensation.

그림 8. 고해상도의 보잉-737 ISAR 영상

Fig. 8. The high resolution ISAR image of the Boeing-737 aircraft.

고해상도의 ISAR 영상을 형성할 수 있었다(그림 8). 경험적으로, 제안한 방법을 이용하여 거리 이동성분을 모두 제거한 ISAR 영상을 얻었을 때, 주파수 스텝 값 Δf 를 서브-칩 대역폭 B_1 의 값의 1/2보다 작은 값으로 설정하여 주파수 합성 스펙트럼을 형성할 경우에서만 ISAR 영상의 거리 방향으로 표적의 초점이 흐려지지 않았다(그림 1, 2, 8). 그 예로 $\Delta f=62.5$ MHz, $N=8$ 로 설정 후, 나머지 다른

그림 9. 거리 방향으로 초점이 흐려진 보잉-737 ISAR 영상

Fig. 9. The ISAR image of the Boeing-737 aircraft with blurring in the direction of range.

파라미터들은 그대로 유지한 채 제안한 방법으로 ISAR 영상을 형성하면 전의 경우와 비교하여 ISAR 영상의 거리 방향으로 초점이 흐려진 것을 알 수 있다(그림 9).

IV. 결 론

본 논문에서는 SCW 신호를 이용하여 ISAR 영상을 형성하는 방법을 소개하였다. 한 버스트 내에 여러 개의 서브-칩 신호들을 보내어 표적에 맞고 다시 돌아오는 수신 서브-칩 신호들을 주파수 영역에서 합성한 후 역-고속 푸리에 변환을 수행하면, 각 방위각에 따른 표적의 위치에 대한 HRRP를 생성할 수 있다. SCW 신호를 이용하는 경우, 기존의 SFW 신호를 이용하여 ISAR 영상을 형성하는 경우보다 긴 PRI 값으로 인해 레이더의 비모호 거리가 길어지므로 고스트 현상을 해결할 수 있음과 동시에 각 버스트에 대한 주파수 합성 스펙트럼의 높은 샘플링 간격으로 인해 영상의 앨리어싱 문제를 해결할 수 있지만, 이 높은 샘플링 간격 때문에 ISAR 영상의 거리 방향 길이가 필요 이상으로 길어진다. 이를 방지하기 위해, 서브-샘플링 과정을 통해 각 버스트에 대한 주파수 합성 스펙트럼의 샘플링 간격을 조절함으로써 ISAR 영상의 거리 방향 길이를 표적의 크기에 맞게 조절한다. 이 후, 버스트의 개수만큼 HRRP들을 생성한 다음, 버스트 간에 존재하는 거

리 이동 성분을 제거하는 거리 이동 보상을 거치면 표적에 대한 고해상도의 ISAR 영상을 형성할 수 있다.

References

- [1] R. T. Lord, "Aspects of stepped-frequency processing for low-frequency SAR systems", *University of Cape Town*, 2000.
- [2] C. Ozdemir, *Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging with MATLAB Algorithms*, New York: WILEY, 2012.
- [3] W. Chongyu, Y. Yang, "Chirp sub-pulse stepped frequency radar signal processing", *IEEE Third International*

Symposium on Information Processing, pp. 251-254, 2010.

- [4] D. Zhu, L. Wang, Q. Tao, and Z. Zhu, "ISAR range alignment by minimizing the entropy of the average range profile", In *Proceedings of IEEE Radar Conference 2006*, NY, USA, pp. 813-818, 2006.
- [5] L. Xi, X. Liu, and J. Ni, "Autofocusing of ISAR images based on entropy minimization", *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 35, no. 4, pp. 1240-1252, Oct. 1999.

이 성 현

2013년 2월: 중앙대학교 전자전기공학부 (공학사)
2013년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 통합박사과정
[주 관심분야] 레이더 신호 처리 및 영상, 모노펄스 신호처리

박 상 홍

2004년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
2007년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2010년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2010년 9월~현재: 부경대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 레이더 신호 처리 및 영상, 레이더 표적인식 및 패턴인식, 스펙트럼 추정 등

강 민 석

2013년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
2013년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 통합박사과정
[주 관심분야] 레이더 신호 처리 및 영상, 다중편파 레이더 이미징

신 승 용

2002년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)
2004년 2월: 포항공과대학교 정보통신학과 (공학석사)
2009년 1월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2009년 3월~2010년 5월: 한국과학기술원 박사후 연구원

2010년 6월~현재: LG넥스원 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호 및 영상 처리, 레이더 표적 식별 기법, 산란점 추출 알고리즘 등

양 은 정

2004년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)
2006년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2011년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2011년 1월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] 능동 위상 배열 레이더 신호처리, ISAR 이동보상 등

김 경 태

1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2002년 3월~2011년 2월: 영남대학교 전

자공학과 교수

2011년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수

2012년 9월~현재: 레이더/IR 표적식별 특화연구실 실장

[주 관심분야] 레이더 신호 처리 및 영상, 레이더 표적인식 및 패턴인식, 전자기수치해석 및 RCS 측정 등