모노스테틱 지형 영상 레이더의 블록 처리 기법 연구

A Study on Block Processing Approach for Mono-Static Terrain Imaging Radar

하종수 · 조병래 · 이정수 · 박규철 · 선선구 · 강태하

Jong-Soo Ha · Byung-Lae Cho · Jung-Soo Lee · Gyu-Churl Park · Sun-Gu Sun · Tae-Ha Kang

요 약

본 논문에서는 전방 표적을 탐지하기 위한 모노스테틱 지형 영상 레이더의 블록 처리 기법을 설명한다. 모노스테틱 지형 영상 레이더는 초광대역 레이더이고 dechirp-on-receive 처리를 수행하기 때문에 합성개구면 레이더의 다양한 기존의 영상화 기법을 적용하기는 어렵다. 본 논문에서는 적용 가능한 영상화 기법으로서 각 블록별로 거리 및 방위각 압축을 수행하는 블록 처리 기법을 제안한다. 제안하는 기법의 도출 과정을 제시하고, 시뮬레이션과 시험 결과를 분석함으로써 제안하는 기법의 성능과 타당성을 검증한다.

Abstract

This paper describes a block processing approach to detect targets in front of mono-static terrain imaging radar (TIR). It is difficult to employ several conventional imaging methods of the synthetic aperture radar(SAR) because the TIR is an ultra-wide-band(UWB) type of radar and employs a dechirp-on-receive process. To design an available imaging method, a block processing approach which conducts a range compression and an azimuth compression is proposed in this paper. The complete derivation of the proposed approach is presented. The results of simulations and field tests are demonstrated to show the performance and validity of the proposed approach.

Key words : Block Processing, Terrain Imaging Radar, Ultra Wide Band

I. 서 론

무인 차량의 야지 자율 주행을 위해서는 차량의 전방에 대한 지형 정보 특히 장애물과 같은 사물에 대한 정보를 획득할 필요가 있다. 이와 관련하여 원래는 위성이나 항공기 등에 국한되어 연구되어온 합성개구면 레이더가 최근에는 무인 차량 등의 장애물 회피용으로 널리 연구되고 있는 추세이다^{[1],[2]}. 미국의 ARL에서는 SIRE(Synchronous Impulse Reconstruction) 전방 관측 레이더 시스템을 연구하고 있

며^[2], 독일의 DLR에서는 SIREV(Sector Imaging Radar for Enhanced Vision) 전방 관측 레이더 시스템을 헬기 이착륙을 보조하기 위해 연구하고 있다^[3].

국방과학연구소에서는 무인 차량에 적용하기 위해 초광대역 신호를 이용한 전방 관측 영상 레이더의 가능성 연구를 수행하였으며^[4], 이를 기반으로 레이더 시스템을 구현하고 있다. 시스템 구현과 더불어 전방 관측 영상 레이더의 영상화 알고리즘을 연구하기 위해 합성개구면 레이더(SAR: Synthetic Aperture Radar)에서 사용하는 기존의 Range-Doppler 알고

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received January 15, 2013 ; Revised February 19, 2013 ; Accepted March 14, 2013. (ID No. 20130115-013)

· Corresponding Author : Gyu-Churl Park (e-mail : harnil@add.re.kr)

리즘, Chirp-scaling 알고리즘, Omega-K 알고리즘, Back-projection 알고리즘 등을 연구하였다^{[5]~[9]}.

이 중 Range-Doppler 알고리즘은^[5] 거리 압축된 표적 반사 신호에 대해 방위각 FFT(Fast Fourier Transform)와 거리 FFT를 수행한 다음 RCMC(Range Cell Migration Compensation)와 방위각 압축을 수행하는 방식으로, 전방 관측 영상 레이더의 dechirp된 수신 신호를 거리 압축하기 위해서는 시간이 많이 소요되는 en chirping 복원과정이 필요하기 때문에 개발하는 레이더의 영상화 알고리즘으로서는 적합하지 않다. Chirp-scaling 알고리즘^{[5],[6]}은 방위각 FFT를 수행한 다음 Chirp scaling하고, 거리 FFT 후 거리 압축과 RCMC 등을 수행하는 방식이나 역시 dechirp된 수신 신호를 en chirp해야 하기 때문에 개발하는 레이더의 영상화 알고리즘으로 적합하지 않다.

Omega-K 알고리즘^{[5],[7]}은 2차원 FFT 수행 후 bulk compression을 위한 참조 함수 곱셈과 differential compression을 위한 Stolt mapping 등을 수행하는 방식으로 사이드로브 특성이 나빠지는 경향이 있으나, 신호 처리 속도가 빨라 본 레이더에 적용 가능하다. Back-projection 알고리즘^{[8],[9]}은 위상 연관성을 기반으로 관심 영역에 대한 모든 측정 데이터의 합을 블록 별로 구하는 방식으로, 블록을 세분할 경우 신호처리 속도가 늦어지는 단점이 있으나, 신호처리 과정에서 가정이 거의 없어 비교적 정확한 표적 정보를 얻을 수 있으므로 근거리 지형 감지 분야에서는 가장 선호되는 신호처리 방식 중 하나이다.

이와 관련하여 Back-projection 알고리즘을 기반으로 전방 관측 레이더에 관한 연구를 발표한 바 있으며^[10], 앞서 언급한 기존의 합성개구면 레이더의 영상 형성 알고리즘 외 새로운 알고리즘의 적용 가능성을 연구하여 발표한 바 있다^{[11],[12]}. 이러한 연구의 일환으로 본 논문에서는 모노스테틱 근거리 영상 레이더에 적용 가능한 블록 처리 알고리즘을 제안한다. 기존의 Back-projection 알고리즘이 각 블록 별로 합성 개구면(Synthetic Aperture)의 획득 신호를 위상 연관성을 기반으로 합치는 방법인 반면, 제안하는 기법은 각 블록별로 중심점을 설정하고, bulk RCMC를 처리한 다음 필요한 신호처리를 수행하는 것을 목적으로 한다.

본 논문 II장에서는 전방 관측 영상 레이더의 프로토타입인 모노스테틱 지형 영상 레이더의 기하학적 구조와 획득 신호에 대해 분석하고, III장에서는 제안하는 블록 처리 알고리즘을 신호처리 과정을 위주로 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션 데이터와 시험 데이터를 이용하여 제안하는 기법을 이용한 영상화 실험 및 분석에 대해 기술하며, V장에서 결론을 맺는다.

II. 지형 영상 레이더 분석

그림 1에 모노스테틱 지형 영상 레이더의 기하 구조를 도시하였다.

그림 1에서 레이더는 한 지점에서 chirp 펄스 신호를 송수신하고, 안테나를 이동시킨 다음 그 지점에서 다시 chirp 펄스 신호를 송수신하는 과정을 N 번 반복한다. 이와 같은 한 개 송수신 안테나의 수평 방향 이동 과정은 하나의 가상의 안테나 배열을 구성하게 되므로 모노스테틱 지형 영상 레이더는 마치 모노스테틱 합성 개구면 레이더처럼 동작하게 된다.

이와 같은 3차원 기하 구조를 모노스테틱 합성 개구면 레이더의 2차원 기하 구조로 설명하기 위해 그림 1을 그림 2와 같이 나타내었다.

그림 2에서 V 는 한 개 안테나의 이동 속도를 나타내고, R_0 는 표적과 안테나 간 수직 최단 거리를 나타낸다. 지형 영상 레이더는 표적 데이터를 획득한 다음 dechirp-on-receive 처리를 수행하기 때문에 위와 같은 방법으로 획득된 신호는 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

그림 1. 지형 영상 레이더의 3차원 기하 구조
Fig. 1. 3D geometry of the TIR.

그림 2. 모노스태틱 합성개구면 레이더 기하 구조 분석

Fig. 2. Analysis of the mono-static SAR geometry.

$$S_r(t_a, t_e) = \exp\left(j\frac{4\pi R_{tgt}}{\lambda}\right) \exp\left(j\frac{4\pi k_e}{C} R_{tgt} t_e\right) \cdot \exp\left(-j\frac{4\pi k_e}{C^2} R_{tgt}^2\right) \quad (1)$$

여기서 t_e 는 거리 시간, t_a 는 방위각 시간, t_{a0} 는 표적의 방위각 시간, k_e 는 chirp 변조율, λ 는 파장, C 는 광속, R_{tgt} 는 표적과 안테나 간 거리를 나타낸다. 이때 R_{tgt} 는 테일러 급수에 의해 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$R_{tgt} = \sqrt{R_0^2 + (V(t_a - t_{a0}))^2} \approx R_0 + \frac{(V(t_a - t_{a0}))^2}{2R_0} \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여 식 (1)을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$S_r(t_a, t_e) = \exp\left(j\frac{4\pi}{\lambda} \left(R_0 + \frac{V^2(t_a - t_{a0})^2}{2R_0}\right)\right) \cdot \left(1 + \frac{k_e \lambda}{C} \left(t_e - \frac{2R_0}{C}\right)\right) \cdot \exp\left(j\frac{4\pi k_e}{C^2} R_0^2\right) \quad (3)$$

위 식 (3)으로부터 방위각 방향의 도플러 주파수 f_a 가 식 (4)와 같이 도출될 수 있다.

$$f_a = \frac{2V^2(t_a - t_{a0})}{\lambda R_0} \left(1 + \frac{k_e \lambda}{C} \left(t_e - \frac{2R_0}{C}\right)\right) \quad (4)$$

일반적인 합성개구면 레이더 시스템에서 위 식의

$\frac{k_e \lambda}{C} \left(t_e - \frac{2R_0}{C}\right)$ 은 1에 비해 매우 작은 값을 가지므로 무시될 수 있으나, 초광대역의 지형 영상 레이더에서는 큰 값을 가지므로 range-Doppler 도메인에서 바로 RCMC를 수행하기는 어렵다. 따라서 제안하는 알고리즘은 관측 영역을 블록으로 나눔으로써 블록 중심점의 R_0 를 설정하고, 각 블록마다 bulk RCMC를 처리하면서 영상화 신호처리를 수행한다. 다음 장에서 제안하는 알고리즘을 상세하게 설명한다.

III. 블록 처리 알고리즘 구현

제안하는 알고리즘은 그림 3과 같이 관측 지형을 블록으로 구분하여 영상화를 수행한다.

제안하는 알고리즘은 영상화를 위해 위 블록의 각 중심점에 대한 bulk RCMC를 수행하는 것을 신호처리의 주요 목표로 삼는다. 그림 4에 제안하는 알고리즘의 블록다이어그램을 제시하였다.

본 논문에서는 위 알고리즘에 따라 관측 지형을 블록으로 분할하고, 각 블록에 대해 bulk RCMC를 수행한다. 그런데 식 (1)의 각 블록 p 의 중심점까지의 표적거리 R_{tgt} 를 알고 있으므로 식 (5)의 H_1 필터를 이용하여 제거 가능한 위상은 제거한다.

$$H_1 = \exp\left(j\frac{4\pi k_e}{C^2} R_{tgt}^2\right) \quad (5)$$

블록이 작은 경우, 그 중심점에 대한 RCMC의 오

그림 3. 관측 지형의 블록 분할

Fig. 3. Block separation of the observation terrain.

그림 4. 제안하는 알고리즘의 블록 다이어그램
Fig. 4. Block diagram of the proposed algorithm.

차는 크지 않기 때문에 differential RCMC는 적용하지 않아도 충분하다. 따라서 식 (6)의 bulk RCMC H_2 필터만 수신 신호에 대해 적용한다.

$$H_2 = \exp\left(j \frac{4\pi k_e}{C} (R_0 - R_{tgt}) t_e\right) \quad (6)$$

필터링 후 수신 신호는 식 (7)과 같이 변환된다.

$$S_r(t_a, t_e) = \exp\left(j \frac{4\pi R_{tgt}}{\lambda}\right) \exp\left(j \frac{4\pi k_e}{C} R_0 t_e\right) \quad (7)$$

식 (7)에 대해 거리 방향 FFT를 수행하면 식 (8)과 같이 된다.

$$S_r(t_a, f_e) = \exp\left(j \frac{4\pi R_{tgt}}{\lambda}\right) \text{sinc}\left(T_p \left(f_e - k_e \frac{2R_0}{C}\right)\right) \cdot \exp\left(-j \frac{4\pi R_0}{C} \left(f_e - k_e \frac{2R_0}{C}\right)\right) T_p \quad (8)$$

표적의 압축되지 않은 방위각 위상은 식 (8)의 첫 번째 지수함수이다. $t_a=0$ 에 대해 $R_{tgt}(t_a)$ 를 테일러 급수로 식 (9)와 같이 근사화시킬 수 있다.

$$R_{tgt}(t_a) \approx R_{tgt}(0) + R_{tgt}'(0)(t_a - 0) + \frac{R_{tgt}''(0)}{2}(t_a - 0)^2 \quad (9)$$

이 때, 식 (9)의 각 함수는 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$R_{tgt}(t_a) = (R_0^2 + V^2(t_a - t_{a0})^2)^{1/2}$$

$$R_{tgt}'(t_a) = (R_0^2 + V^2(t_a - t_{a0})^2)^{-1/2} \cdot V^2(t_a - t_{a0})$$

$$R_{tgt}''(t_a) = -(R_0^2 + V^2(t_a - t_{a0})^2)^{-3/2} \cdot V^4(t_a - t_{a0})^2 + (R_0^2 + V^2(t_a - t_{a0})^2)^{-1/2} \cdot V^2$$

따라서 표적의 방위각 압축을 위해서는 2차 위상 성분이 식 (10)의 H_3 필터에 의해 제거되는 azimuth deramping 과정이 필요하다.

$$H_3 = \exp\left(-j \frac{4\pi}{\lambda} \frac{R_{tgt}''(0)}{2} t_a^2\right) \quad (10)$$

식 (11)에 azimuth deramping 후 수신 신호를 나타내었다.

$$S_r(t_a, f_e) = \exp\left(j \frac{4\pi}{\lambda} (R_{tgt}(0) + R_{tgt}'(0)t_a)\right) \cdot \text{sinc}\left(T_p \left(f_e - k_e \frac{2R_0}{C}\right)\right) \cdot \exp\left(-j \frac{4\pi R_0}{C} \left(f_e - k_e \frac{2R_0}{C}\right)\right) T_p \quad (11)$$

위 식의 첫 번째 지수함수에 대해 방위각 방향으로 FFT를 수행하면 표적을 방위각 방향으로 압축시킬 수 있다. 그런데, 이 경우 표적 위치는 도플러 주파수 영역에 나타나게 되는데, 이 때 표적의 좌표를 시간 영역으로 직접적으로 변환하기는 어려우므로 본 논문에서는 FFT 대신에 chirp-Z 변환^[13]을 적용하여 표적을 방위각 방향으로 압축하였다.

이와 같이 영상 압축을 수행하면 1개의 블록에 대한 표적 정보를 얻을 수 있는데, 이를 이용하여 1개 블록 영상을 생성한다. 이러한 과정을 전체 블록 개수 N 개에 대해 반복하면 전체 지형 영상을 얻을 수 있다. 하지만 이 경우 안테나와 표적까지의 거리, 즉 slant 거리에 대한 정보를 얻는 것이기 때문에 정확한 지형 영상을 얻기 위해서는 ground projection을 수행할 필요가 있다.

이를 위해 본 논문에서는 sinc 함수 interpolator^[5]를 사용하여 ground projection을 수행하였다. 식 (11)의 $\exp\left(-j \frac{4\pi R_0}{C} \left(f_e - k_e \frac{2R_0}{C}\right)\right)$ 요소는 영상 압축에 영향을 미치지 않는 지수함수이므로 신호처리 과정에서 무시가 가능하다. 따라서 ground projection을 최종 영상은 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_r(t_a, t_e) = \text{sinc}(T_a(t_a - t_{a0})) T_a \cdot \text{sinc}(T_p(t_e - t_{e0})) T_p \quad (12)$$

IV. 영상화 실험 및 분석 결과

그림 5에 모노스테틱 지형 영상 레이더를 나타내었다.

앞서 언급한 바와 같이 지형 영상 레이더는 전방 관측 영상 레이더^[10]의 프로토타입 모델이다. 위 그림에서는 두 개의 안테나를 수평방향으로 이동하면서 표적 신호를 획득하는데, 이는 각각 정보를 얻기 위한 것이므로 2차원 영상의 경우에는 실제 1개의 안테나가 수평방향으로 이동하면서 획득한 영상이다. 따라서 본 논문에서는 1개의 안테나에서 획득한 데이터에 대해서만 신호처리를 수행한다.

제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 그림 6과 같이 거리 방향으로 10 m 떨어진 표적을 생성하였다. 지형 영상 레이더의 설계값을 바탕으로 중심 주파수는 C밴드로 설정하였으며, 정확한 거리 해상도 확보를 위해 주파수 대역폭은 1.6 GHz로 설정하였다. 지형 영상 레이더는 chirp 펄스를 송수신하므로 sweep 시간을 2 ms로 설정하여 chirp rate를 설정하였다. 샘플링 주파수는 400 kHz로, 안테나 별 획득 데이터는 800샘플로 설정하였고 실제 영상 획득 시험 시 안테나 간 간격을 조정하여 32개의 안테나 데이터를 획득하였으므로 본 시뮬레이션에서도 동일하게 설정하였다. 이 때 안테나 높이는 약 2m로 설정하였다.

그림 5. 모노스테틱 지형 영상 레이더
Fig. 5. Mono-static terrain imaging radar.

그림 6. 시뮬레이션 조건
Fig. 6. Simulation condition.

위 시뮬레이션 조건에 따라 생성한 데이터에 대해 제안하는 알고리즘과 Back-projection 알고리즘을 수행하여 결과를 비교하였다. 제안하는 알고리즘과 Back-projection 알고리즘 모두 5 cm×5 cm 크기의 블록으로 관측 영상을 120×340개로 분할하여 신호처리를 수행하였고, 그 결과를 그림 7에 나타내었다.

표적의 위치 정확도와 해상도, PSLR(Peak To Side-lobe Ratio)을 확인하기 위해 그림 8과 같이 표적을 방위각 축에서 분석하였다.

그림 7. 시뮬레이션 영상 형성 결과
Fig. 7. Result of the simulation imaging.

(a) 제안하는 알고리즘
(a) Proposed algorithm

(b) 기존 알고리즘(BP)
(b) Back-projection algorithm

그림 8. 표적 방위각 정보 분석

Fig. 8. Analysis of the cross-range information of the target.

Aperture의 길이가 L 일 때 방위각 해상도는 식 (13)과 같이 정의된다^[5].

$$\Delta a = \frac{R_{tgt} \lambda}{2L} \quad (13)$$

위 경우 표적 거리는 10 m 이므로 표적의 방위각 해상도는 약 0.6 m이다. 위 그림 8에서 제안하는 알고리즘은 표적을 (0 m, 10 m)에 설정한대로 생성하였다. 이 때 방위각 해상도는 약 0.61 m, PSNR은 약 13 dB이다. Back-projection 알고리즘의 경우 표적은 설정한대로 (0 m, 10 m)에 위치하였으며, 방위각 해

그림 9. 야외 시험 장면

Fig. 9. Picture of the field test.

상도는 약 0.63 m, PSNR은 약 13.2 dB이다. 따라서 제안하는 알고리즘은 Back-projection 알고리즘과 비슷한 수준의 영상화 결과를 보인다.

실제 시험에서 획득한 데이터 처리 성능을 확인하기 위해 그림 9와 같이 갈대 뒤에 코너반사기를 설치하고, 앞서 수행한 시뮬레이션과 동일한 조건의 지형 영상 레이더를 이용하여 표적 신호를 획득하였다. 제안하는 알고리즘과 Back-projection을 제안하는 알고리즘을 이용하여 영상화를 수행하였으며, 그 결과를 그림 10에 나타내었다.

그림 10에서 제안하는 알고리즘과 Back-projection 알고리즘 모두 약 7 m 지점에서 설치된 은폐한 경인 갈대 뭉치를 투과하면서, 약 10 m 지점에 설치

(a) 제안하는 알고리즘
(a) Proposed algorithm

(b) 기존 알고리즘(BP)
(b) Back-projection

그림 10. 시험 영상 형성 결과

Fig. 10. Result of the test imaging.

(a) 제안하는 알고리즘
(a) Proposed algorithm

(b) 기존 알고리즘(BP)
(b) Back-projection algorithm

그림 11. 표적 방위각 정보 분석

Fig. 11. Analysis of the cross-range information of the target.

된 표적인 코너반사기를 영상화하고 있음을 확인할 수 있다. 이와 관련한 표적의 방위각 정보를 그림 11에서 나타내었다.

그림 11에서 제안하는 알고리즘의 경우 표적의 방위각 위치는 0.325 m, 방위각 해상도는 약 0.60 m, PSLR은 약 13.1 dB이다. Back-projection 알고리즘의 경우 표적의 방위각 위치는 0.33 m, 방위각 해상도는 약 0.62 m, PSLR은 약 13.3 dB이다. 따라서 제안하는 알고리즘은 Back-projection 알고리즘과 비슷한 수준의 영상화 결과를 보인다.

V. 결 론

본 논문에서는 전방 표적을 획득하는 모노스테틱 지형 영상 레이더의 영상화 방법을 연구하였다. 지형 영상 레이더는 합성개구면의 길이가 짧고 초광대역 레이더이며 dechirp-on-receive 방법을 사용하기 때문에, 기존의 합성개구면 레이더의 영상화 알고리즘 중 적용이 가능한 알고리즘으로는 Back-projection 알고리즘, Omega-K 알고리즘 정도를 고려할 수 있다.

본 논문에서는 개발하는 영상 레이더에 대한 다양한 영상화 알고리즘의 적용 가능성을 연구하기 위해 새로운 알고리즘을 연구하였으며, 그 일환으로 블록 처리 알고리즘을 제안하였다. 수신 신호를 수학적으로 분석하여 제안하는 알고리즘의 블록 다이어그램을 제시하고, 순차적으로 영상화 과정을 설명하였다. 시뮬레이션과 실제 시험을 통해 획득한 데이터에 대해 제안하는 알고리즘과 기존의 Back-projection 알고리즘의 결과를 비교하고, 제안하는 알고리즘이 레이더 이론에 부합하게 표적을 영상화함을 확인함으로써 영상화 알고리즘으로서의 적용 가능성을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] L. Nguyen, D. Wong, B. Stanton, and G. Smith, "Forward imaging for obstacle avoidance using ultra-wideband synthetic aperture radar", *Proc. SPIE*, vol. 5083, pp. 519-528, 2003.
- [2] M. Ressler, L. Nguyen, F. Koenig, D. Wong and G. Smith, "The army research laboratory(ARL) synchronous impulse reconstruction(SIRE) forward looking radar", *Proc. SPIE*, vol. 6561, pp. 656105-1-656105-12, 2007.
- [3] G. Krieger, et al., "Sector imaging radar for enhance vision", *Aerospace Science and Technology*, vol. 7, pp. 147-158, 2002.
- [4] 선선구, 조병래, 박규철, 남상호, "무인 차량 탑재형 전방 관측 영상 레이다 가능성 연구", 한국전자과학회논문지, 21(11), pp. 1285-1294, 2010년 11월.
- [5] Ian G. Cumming, Frank H. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data*, Artech House, 2005.
- [6] Xiaolan Qiu, Donghui Hu, and Chibiao Ding, "An

- improved NLCS algorithm with capability analysis for one-stationary BiSAR", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 46, no. 10, pp. 3179-3186, Oct. 2008.
- [7] B. Liu, T. Wang, Q. Wu, and Z. Bao, "Bistatic SAR data focusing using an omega-K algorithm based on method of series reversion", *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, vol. 47, no. 8, pp. 2899-2912, 2009.
- [8] Othmar Frey, Erich H. Meier, and Daniel R. Nuesch, "Processing SAR data of rugged terrain by time-domain back-projection", *Proc. SPIE5980*, pp. 598007, Oct. 2005.
- [9] Yonghong Yang, Yiming Pi, and Ran Li, "Back projection algorithm for spotlight bistatic SAR imaging", *Radar, 2006. CIE '06. International Conference on*, pp. 1-4, Oct. 2006.
- [10] Sun-Gu Sun, et al., "UWB forward imaging radar for an unmanned ground vehicle", *Asia-Pacific Conference Synthetic Aperture Radar*, 2011.
- [11] Dong-Hyun Kim, et al. "New approach of processing for ultra wide band one stationary bistatic SAR system", *Asia-Pacific Conference Synthetic Aperture Radar*, 2011.
- [12] Jong-Soo Ha, et al., "Forward imaging radar data processing using scaling factor", *Asia-Pacific Conference Synthetic Aperture Radar*, 2011.
- [13] L. R. Rabiner, et al., "The chirp z-transform algorithm", *IEEE Trans. on Audio and Electroacoustics*, vol. AU-17, no. 2, pp. 86-92, 1969.

하 중 수

2001년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 레이더 신호처리, 영상 레이더, 시스템 M&S, 영상 신호처리 등

이 정 수

2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
 2002년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2002년 3월~2005년 12월: LG 전자연구원
 2006년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 안테나 설계, 영상레이다 등

조 병 래

1999년 2월: 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2001년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2005년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
 2005년 3월~2006년 1월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (연구원)
 2006년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 레이더 신호처리, 영상레이다 등

박 규 철

1989년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2010년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
 1991년 2월~현재: 국방과학연구소 책임연구원
 [주 관심분야] 근거리 특수레이다 시스템, Transceiver 등

선 선 구

1987년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1989년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1989년 2월~현재: 국방과학연구소

책임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 영상레이다, 컴퓨터비전

강 태 하

1985년 2월: 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학사)
1987년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학석사)
2001년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)
1987년 2월~현재: 국방과학연구소

책임연구원

[주 관심분야] 영상신호처리, 레이더영상 신호처리 등