

항공용 전방 관측 레이더에서의 RBGM 영상 형성

RBGM Image Formation on Forward-Looking Airborne Radars

배창식 · 조재형 · 홍윤석 · 윤보람* · 김민지* · 한승훈

Chang-Sik Bae · Jae-Hyoung Cho · Yunseog Hong · Bo-Ram Yoon* · Min-Ji Kim* · Seung-Hoon Han

요 약

본 논문에서는 항공용 전방 관측 레이더의 real beam ground map(RBGM) 모드를 소개하고, 개발 중인 레이더를 통해 획득한 영상을 제시한다. RBGM 모드에 대한 전반적인 내용 소개와 함께 알고리즘의 설계 및 검증 단계(M&S 분석, 지상 시험, 비행시험)에서 고려되는 주요한 특징들을 각 단계에서 획득한 RBGM 영상과 함께 제시한다. 영상 분석을 통해 RBGM 모드의 특징들을 확인하고, 전방 넓은 영역에 대한 대략적인 지형 정보를 제공하는 용도로 RBGM 모드가 적합함을 보인다.

Abstract

In this study, we introduce the real beam ground map (RBGM) mode of airborne forward-looking radars and present the images obtained by the radar under development. In addition to an introduction to the overall contents of the RBGM mode, we present the main features considered in the algorithm design and verification steps (M&S analysis, ground test, and flight test) and the RBGM images obtained in each step. We suggest the features of the RBGM mode through the analysis of RBGM images and demonstrate that the RBGM mode is suitable for the purpose of providing rough terrain information for a wide area ahead.

Key words: Airborne Radar, Forward-Looking, RBGM, Image

I. 서 론

항공기에 탑재되는 사격 통제 레이더(fire control radar)는 주로 항공기의 전면(nose) 부분에 장착되는 전방 관측(forward-looking) 형태를 가진다^[1]. 이를 통해 조종사는 전방 영역의 공중 표적이나 기상 상황과 같이 전투/항행에 필요한 정보나 감시/정찰에 필요한 지형 정보를 전달받는다. 이때 지형 정보는 조종사가 신속하게 전방 영역을 파

악할 수 있도록 영상(image) 형태로 제공되는 것이 효과적이다. 영상은 레이더 외에도 광학이나 적외선 센서를 통해서도 제공되지만, 이들은 야간이나 악기상 환경에서 제대로 된 기능을 수행하지 못하기 때문에 전천후 환경에 유리한 레이더를 통한 영상 형성이 과거부터 현재까지 중요한 과제로 주목받고 있다^[2]. 레이더를 이용한 영상 형성에는 크게 real beam ground map(RBGM)과 Doppler beam sharpening(DBS)^[3], 그리고 synthetic aperture radar

「이 연구는 국방과학연구소의 지원으로 연구되었음(UC160003BD).」

한화시스템 레이더체계센터(Radar System Center, Hanwha Systems)

*국방과학연구소 항공기레이더체계단(Aircraft Radar PMO, Agency for Defense Development)

· Manuscript received April 19, 2021 ; Revised May 14, 2021 ; Accepted June 7, 2021. (ID No.20210419-008S)

· Corresponding Author: Chang-Sik Bae (e-mail: changsik.bae@hanwha.com)

(SAR) 모드가 있다. 이 중 DBS와 SAR 모드는 고해상도의 영상을 제공하지만, 도플러 처리를 필요로 하기 때문에 전방에 대한 영상 형성에 있어서 제한적이다^{[4][5]}. 이를 극복하기 위한 연구들이 수행되었지만, 이들 대부분은 바이스태틱 구조^{[6][7]}나 추가적인 알고리즘^{[8][9]}을 요구하여 모노스태틱 레이더에서 신속한 전방 지형 정보를 위한 수단으로는 적합하지 않다. 따라서 이 경우에는 다른 알고리즘들에 비해 비교적 성능(해상도)이 떨어지지만, 빠른 영상 형성이 가능하고 영상 형성 영역에 제한이 없는 RBGM 모드가 그 대안이 될 수 있다. RBGM 모드는 다른 모드들과 달리 수행된 연구가 많지 않고, 특히 실제 제작된 레이더를 기반으로 획득한 RBGM 영상에 대한 분석은 거의 이루어지지 않았다. 하지만 RBGM 모드는 사격 통제 레이더에서 전방 영역의 지형 정보 파악을 위한 일차적인 영상 제공 수단이나 ground moving target indication (GMTI) 결과의 배경으로 사용되어^[10] 지상 이동 표적의 움직임 파악을 용이하게 하는 등 다양한 활용도가 있는 모드이다. 따라서 본 논문에서는 RBGM 모드를 설계하는 과정과 현재 개발 중인 레이더를 통해 획득한 지상시험과 비행시험 결과를 제시하여 RBGM 모드가 항공용 레이더에서 전방 영역에 대한 지형 정보를 제공하는 데 사용될 수 있음을 보인다.

II. Real Beam Ground Map

RBGM 모드는 레이더로 획득한 거리 방향 신호(range profile)를 최소한의 신호처리를 거쳐 영상 형태로 보여주는 모드이다. 그림 1과 같이 전방 혹은 사용자가 지정한 일정 영역을 스캔하며 매 방향 얻어진 거리 방향 신호를 영상 맵핑을 통하여 실시간으로 화면 전시기에 전시한다. 이때 영상은 일반적으로 신호의 크기에 따라서 gray scale로 변환되어 사용자에게 흑백 형태의 이미지로 제공된다. 이처럼 RBGM 모드는 복잡하거나 연산량이 많은 신호처리가 요구되지 않기 때문에 다른 영상 모드들에 비해 영상 형성 속도가 빠르다. 또한 자유로운 파형 선택을 통해 거리 방향으로 높은 해상도를 가질 수 있으며, 상대적으로 먼 거리에 대한 영상을 형성할 수 있다. 하지만 그림 2에서 확인할 수 있듯이 RBGM 모드로 획득한 영상은 다

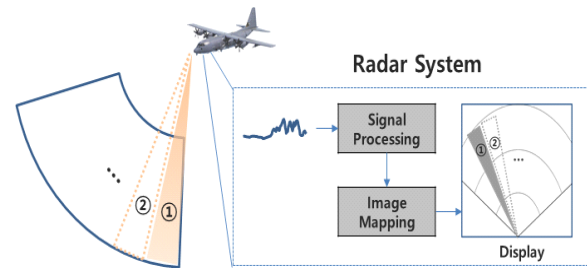


그림 1. RBGM 모드 개념도

Fig. 1. Concept of RBGM mode.

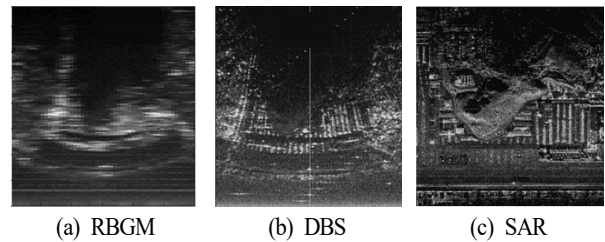


그림 2. Goleta Start 社 영상 모드의 최종 전시 화면 예시
Fig. 2. Example of result of image mode of Goleta Star company.

른 영상 모드로 획득한 영상에 비해 방위각 방향으로 넓게 퍼진 형태로 나타나는데, 이는 방위각 방향으로 아무런 처리를 하지 않고 실제 빔(real beam)에 의해 수신되는 신호 자체를 보여주기 때문이다. 즉, RBGM 모드의 방위각 해상도는 빔 폭에 의해 결정되며, 특히 부엽 레벨이 낮은 안테나를 사용할 경우, 빔 폭과 거의 동일한 해상도를 가지게 된다. 이는 좁은 빔 폭을 가지는 레이더 시스템에서는 RBGM 영상을 통해서도 대략적인 지형 정보 획득이 가능함을 시사한다.

III. 알고리즘 설계 및 검증

본 장에서는 앞서 설명한 RBGM 모드를 설계하고 검증하는 과정과 각 과정에서 획득한 RBGM 영상을 제시한다. 그림 3은 알고리즘 설계 단계부터 검증을 위한 비행시험까지의 과정을 나타낸 것으로, 단계별 주요 특징들과 해당 과정을 통해 점검 및 검증하고자 하는 항목들을 나열하였다.

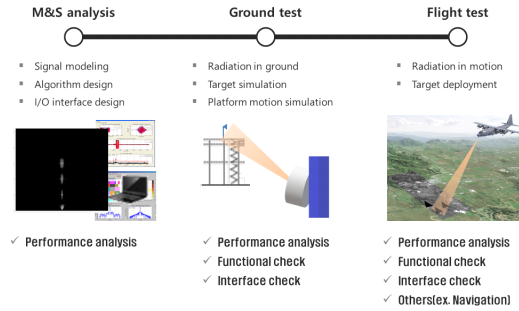


그림 3. RBGM 알고리즘 설계 및 시험 절차
Fig. 3. Procedure of RBGM algorithm design and test.

3-1 M&S 분석

Modeling & Simulation(M&S) 분석 단계에서는 설계된 레이더 시스템 및 RBGM 알고리즘을 수식 기반으로 모델링하여 이에 대한 성능을 분석하고, 시뮬레이션 결과를 바탕으로 알고리즘의 수정 및 보완을 진행한다. 이 과정에서 설계되는 항목들의 예시를 적으면 다음과 같다.

3-1-1 NESZ 기반 시스템 설계

Noise equivalent sigma zero(NESZ)는 수신한 신호의 clutter to noise ratio(CNR) 값이 1이 되는, 즉 신호와 잡음의 크기가 같을 때의 σ_0 값을 의미한다. 이는 곧 시스템의 NESZ보다 작은 σ_0 를 가지는 지형에 대해서는 수신 신호가 잡음 레벨보다 낮은 크기를 가지기 때문에 영상 형성이 불가능하다는 것을 의미한다. 따라서 관측하고자 하는 영역의 최소 σ_0 값이 NESZ보다 큰 값을 가지도록 시스템을 설계하는 것(혹은 시스템 파라미터를 적응형으로 변경하는 것)이 중요하다. 이를 위해선 먼저 시스템의 NESZ 값을 계산해야 하며, 이는 다음의 수식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\frac{C}{N} = \frac{P_t G_t G_r n_i \lambda^2 \sigma_{0,eq} A}{(4\pi)^3 k T_0 BFLR^4} = 1$$

$$\sigma_{0,eq} = \frac{(4\pi)^3 k T_0 BFLR^4}{P_t G_t G_r n_i \lambda^2 A} \quad (1)$$

여기서 C 는 클러터 수신 전력이고, N 은 잡음 전력, P_t 는 송신 전력, G_t 는 안테나 송신 이득, G_r 는 안테나 수신 이득, n_i 는 integration 이득, λ 는 파장, A 는 클러터 패치

의 면적, k 는 볼츠만 상수, T_0 는 절대 온도, B 는 수신 대역폭, F 는 잡음 지수, L 은 손실, R 은 안테나와 클러터 사이의 경사 거리, $\sigma_{0,eq}$ 는 NESZ이다. 계산된 NESZ 값이 관측하고자 하는 지형의 최소 σ_0 보다 크다면, 식 (1)의 시스템 파라미터를 수정하여 NESZ 값을 조절해야 한다. 일반적으로 안테나와 기타 하드웨어들의 설계 변경은 어려우므로, 주로 손실(빔 모양(beam shape) 손실이나 windowing 손실 등)을 줄이거나 integration 이득을 높여서 NESZ 값을 조절한다.

3-1-2 파형 선택

앞서 언급하였듯이, RBGM 모드와 거리 해상도는 사용하는 펄스폭 및 변조 방식에 따라 결정되므로, 하드웨어 가용 범위 내에서 원하는 거리 해상도를 만족하도록 파형을 선택한다. 또한 RBGM 모드는 도플러 처리를 수행하지 않기 때문에 pulse repetition interval(PRI) 선택에 있어서 상대적으로 자유롭다. 따라서 관측하고자 하는 최대 거리에 대해 모호성(ambiguity)이 없도록(혹은 영향이 적도록) PRI를 선정하는 것이 일반적이다. 다만 PRI에 따라 스캔 시간 및 CNR이 영향을 받을 수 있으므로 정해진 운용 개념을 고려하여 PRI를 선정한다. 위의 내용을 정리하여 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\tau}{TBP} < \frac{2\Delta r}{c}$$

$$PRI > \frac{2R_{max}}{c} \quad (2)$$

여기서 τ 는 펄스폭이고, TBP 는 시간-대역폭 곱(time bandwidth product), Δr 은 거리 해상도, c 는 빛의 속도, R_{max} 는 최대 경사 거리이다.

3-1-3 영상 스케일링 설계

RBGM 모드로 획득한 영상을 판단하는 주체는 사람이므로, 신호처리를 거친 거리 신호가 화면 전시기에 전시되기 전 human visual system(HVS)을 고려한 영상 처리 과정이 필요하다. 보통 획득된 영상의 동적 범위는 수십 dB 부터 크게는 100 dB 이상까지 걸쳐 있는데, 사람이 인지

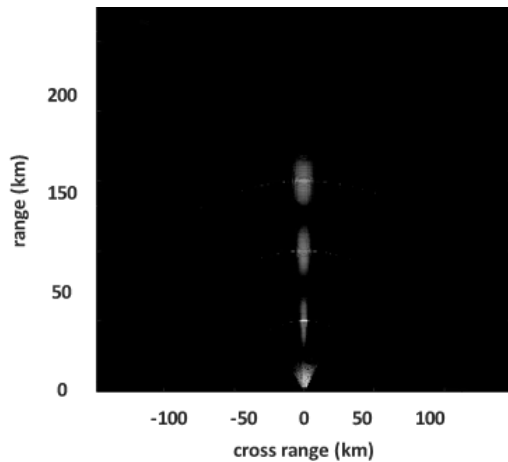


그림 4. M&S 분석 단계에서 획득한 RBGM 영상
Fig. 4. RBGM image obtained during M&S analysis.

할 수 있는 동적 범위는 30 dB~40 dB 정도이므로^{[11],[12]} 영상 스케일링(scaling)을 통해 데이터의 동적 범위를 조절한다. 이후 histogram-stretched image, quarter-power image, logarithmic image, arctangent image 등의 영상 맵핑 기법을 이용하여 256 레벨의 gray-scale로 영상을 생성한다^[13]. 영상 맵핑 기법뿐만 아니라, 맵핑된 데이터를 선택하는 범위 또한 영상에 영향을 미치며, 이는 관측 지형이나 사용자의 관심 정보에 따라 선택되어야 한다. 이에 대한 영향성을 3-3절에서 실제 획득한 영상을 기반으로 제시한다.

그림 4는 이러한 M&S 분석 과정을 거쳐 획득한 RBGM 영상으로 3개의 점 표적을 배치하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. Radar cross section(RCS)가 큰 점 표적을 배치하여 거리 방향으로 부엽 성분들이 존재하지만, 주엽 성분은 높은 해상도를 가진 것을 확인할 수 있다. 방위각 방향으로의 빔 폭에 의해 퍼지는 것을 확인할 수 있고, 거리에 따라 방위 방향 거리 해상도가 달라지는 것을 알 수 있다.

3-2 지상시험

항공용 레이다는 장소와 시간, 금전적 제약 등으로 인해 실제 항공기에 장착하여 시험하기 전 지상에서 대략적인 시험을 수행한다. 지상시험에서는 레이다가 고정되

어 있기 때문에 실제 항공기 이동에 따른 클러스터 도플러 스펙트럼 특성 및 영향을 확인할 수 없지만, RBGM 모드는 도플러 처리를 수행하지 않아 해당 제약 사항에 크게 영향을 받지 않는다. 또한 기체 이동에 따른 안테나 빔 조향 특성의 경우, 항공기의 이동을 모의하여 그 기능 및 성능을 확인할 수 있다.

지상시험에서는 주로 개발 중인 장비들간의 연동이나 기능 점검, 그리고 설계된 알고리즘의 성능 분석을 수행한다. 이때 제한된 지상시험 환경으로 인해 시험장 주변에서 원하는 특징을 가지는 표적을 찾기 힘들기 때문에 표적모의기를 이용하여 신호를 발생시킨다. 정확한 성능 분석을 위해서는 표적의 위치 및 속도, 특히 세기(RCS)가 정밀하게 모의되어야 하며, 이는 항공기 운용 시나리오를 고려한 수식 기반의 클러스터 RCS 계산을 통해 이루어진다. 그림 5는 단일 해상도 크기의 클러스터 패치에 대한 RCS 계산에 사용되는 기하학적 구조를 나타낸 것으로, 펄스폭에 의한 영역보다 안테나 빔에 의한 영역이 더 작은 빔 제한(beam-limited) 상황을 가정하였다. 그림 4의 환경에서 클러스터 RCS를 계산하면 다음과 같다.

$$\sigma = (R \cdot \phi_{3dB}) \left(\frac{c\tau}{2} \frac{1}{\cos\theta} \right) \gamma \sin\theta \quad (3)$$

여기서 ϕ_{3dB} 는 방위각 방향의 빔 폭이고, θ 는 고각, γ 는 클러스터의 σ_0 를 constant gamma 모델로 가정하였을 때 지형에 대한 감마 상수이다. 식 (4)를 통해 계산된 클러스터 RCS를 갖는 표적을 모의하면 설계된 RBGM 알고리즘의 영상 형성 거리 등을 분석할 수 있고, 다수의 표적모의기를 이용하면 거리 방향과 방위각 방향의 해상도를 확인

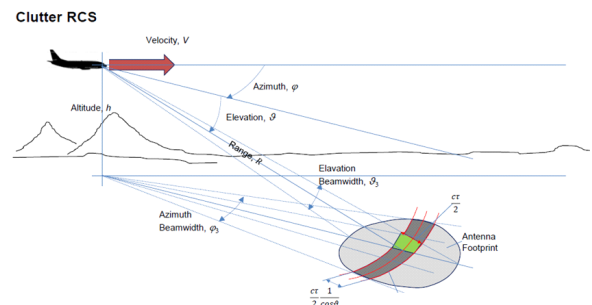
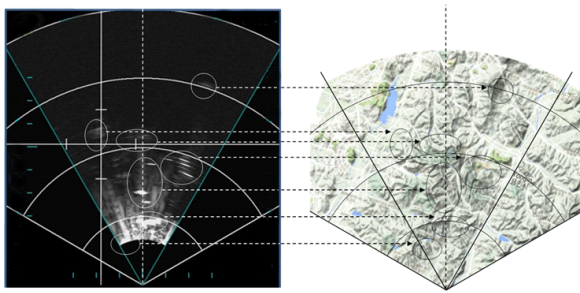


그림 5. 클러스터 RCS 계산을 위한 기하학적 구조
Fig. 5. Geometry for calculation of clutter RCS.



(a) 화면 전시기 전시화면 (b) 동일 영역의 Google map
(a) Display (b) Google map

그림 6. 지상시험 RBGM 영상 결과와 Google map 비교.
거리 범위 10 NM, 방위각 범위 $\pm 30^\circ$

Fig. 6. Comparison between RBGM image obtained from ground test and Google map. range scale of 10 NM, azimuth angle scale of $\pm 30^\circ$.

할 수 있다.

그림 6은 지상시험 과정에서 획득한 RBGM 영상으로, 표적모의기가 아닌 주변 지형으로부터 수신된 신호를 보여주고 있다. 근거리에서 잡음 성분과 클러스터 성분이 확인되는 것을 볼 수 있고, 클러스터 성분에 대해서는 앞서 언급한 RBGM 알고리즘의 특성(좋은 거리 해상도와 빔 폭에 의한 방위각 해상도)이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 우측 그림은 획득한 영상과 동일한 영역에 대한 구글맵으로, RBGM 영상의 클러스터 성분들과 대응시켜보면 시험장 주변 고도가 높은 산으로부터 반사되어 신호가 들어오는 것을 확인할 수 있다.

3.3 비행시험

비행시험 단계에서는 항공기 기동과 항법 장치 성능에 의한 빔 조향 성능이나 직하방 방향의 부엽(alitude line echo) 성분의 영향과 같이 지상시험에서 확인하기 어려운 항목들을 점검할 수 있다. 또한 표적 모의기가 아닌 코너 반사기나 루네부르크 렌즈(Luneburg lens) 반사기 같은 점 표적(point-like 표적)을 배치하여, 해상도와 영상 형성 거리 등 설계한 알고리즘의 성능을 검증한다. 이때 반사기의 위치와 항공기의 위치를 정밀하게 측위할 수 있다면 지향성이 높은 코너 반사기를 사용하는 것이 유리하다. 해상도 분석을 위해서는 2개 이상의 코너 반사기를 해상

도의 2~3배만큼 이격하여 배치하고, 영상에서 이들이 구별되는지 확인한다. 이때 RBGM 모드는 거리가 멀어짐에 따라 방위 방향 거리 해상도가 커지므로, 코너 반사기를 더욱 멀리 이격시켜야 하고, 또한 식 (3)에 의해 클러스터 RCS가 더 커지게 되어 더 큰 코너 반사기가 필요하게 된다. 만약 삼각 코너 반사기를 고려한다면, RCS에 따라 필요한 코너 반사기의 크기는 다음과 같이 정해진다.

$$a = \sqrt{\frac{3\lambda^2}{4\pi} \sigma_{\max}} \quad (4)$$

여기서 a 는 삼각 코너 반사기 한 면의 길이, σ_{\max} 는 코너 반사기가 갖는 가장 큰 RCS 값이다. 예를 들어, 10 GHz 송신 주파수와 거리 해상도 50 m, 방위각 해상도 5도를 가지는 레이더가 30 kft 고도에서 80 NM 거리에 있는 사막 클러스터($\gamma = -12.4$ dB)를 고려한다면, 식 (3)에 의해 클러스터 RCS는 51.2 dB가 되며, 삼각 코너 반사기 한 면의 길이는 2.3 m가 되어야 한다. 여기에 주변 환경보다 표적이 돋보이도록 마진을 준다면 코너 반사기의 크기는 더욱 커지게 된다. 이러한 경우에는 물로부터 반사되는 신호의 크기가 매우 작다는 특성을 이용하여 호수나 강과 같이 자연적으로 구분된 지형을 찾아 방위 방향 거리 해상도를 검증할 수 있다.

그림 7은 실제 비행시험에서 전방 $\pm 60^\circ$ 의 방위각 범위의 영역에 대해 획득한 RBGM 영상이다. 해당 시험은 기

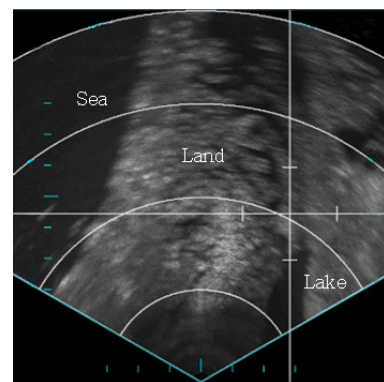


그림 7. 비행시험 RBGM 영상 결과와 관측 지점의 지형 형태

Fig. 7. RBGM image obtained during flight test and terrain type of observation region.

능 점검 차원에서 표적을 따로 배치하지 않았으며, 관측 영역은 크게 바다와 육상, 그리고 호수로 이루어져 있다. 그림에서 확인할 수 있듯이 전방 80 NM 범위에 대해 영상이 형성되었으며, 물이 있는 바다와 호수는 반사가 적어 검게 나타나 대략적인 지형 및 해안선 등이 식별됨을 알 수 있다.

그림 8은 앞서 설명한 영상 맵핑 데이터의 선택 범위에 따른 화면 전시기 전시 영상을 나타낸 것이다. 이때 영상은 다음과 같은 logarithm image 맵핑 기법을 통해 256 레벨 gray-scale로 전환되었다.

$$P = 255\alpha \log_{10}(p) \quad (5)$$

여기서 α 는 scale factor이고, p 는 기존 영상의 크기, P 는 256 레벨 gray-scale로 전환된 영상의 크기이다. 그림 8(a)의 경우, 맵핑된 데이터의 최소 영역(잡음 레벨 이상)부터 최대 영역까지 전 영역을 선택하여 영상을 전시한 것으로, 모든 신호 성분에 대해 확인이 가능하지만, 지형간(해상과 육상)의 구분이 명확하지 않은 단점이 있다. 그림 8(b)는 그림 8(a)와는 다르게 좁은 영역만을 선택하여

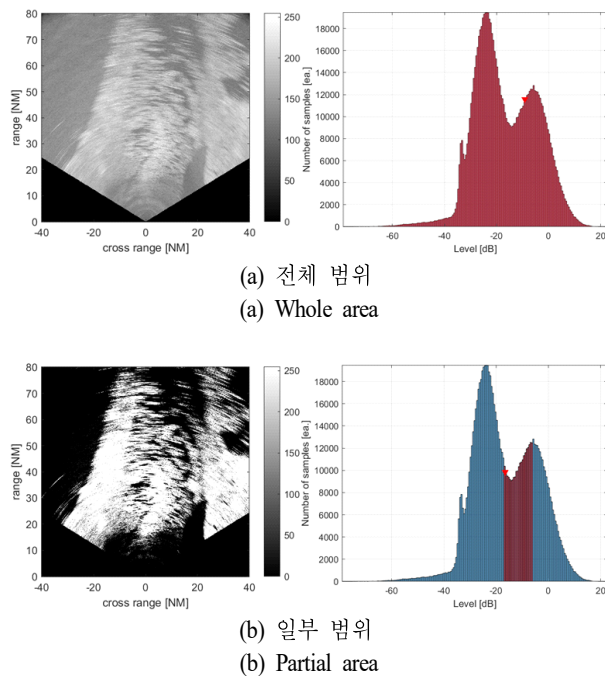


그림 8. 동적 범위 설정에 따른 화면 전시기 전시 영상
Fig. 8. Image of different dynamic ranges on the display.

영상을 전시한 것으로, 신호의 동적 범위가 작아 최소-최대가 명확하게 구분되지만, 비슷한 크기를 가지는 영역(육상) 간에는 영상의 구분이 힘든 것을 확인할 수 있다. 따라서 지형의 종류에 따라 적절하게 동적 범위를 조절할 수 있는 기능이 RBGM 모드에서는 필요하다.

추가적으로, 시스템의 정확한 budget을 알고 있다면 획득한 영상으로부터 지형의 후방 산란 계수(backscattering coefficient)를 계산할 수 있다. 이 후방 산란 계수는 스침각(grazing angle)과 지형에 따라 고유한 값을 가지므로, 지형 형태를 식별하는 데 사용될 수 있다. 만약 시스템 budget을 모른다면, RCS를 알고 있는 코너 반사기를 배치한 후 radiometric calibration을 통하여 시스템 budget을 계산할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 항공용 레이더에서 전방 영역에 대한 영상을 획득하는 RBGM 모드를 소개하고, 실제 지상시험 및 비행시험을 통해 획득한 결과를 제시하였다. RBGM 알고리즘이 가지는 낮은 연산량과 제한 없는 영상 형성 영역으로 인해, 전방 관측 사격 통제 레이더에서 전방 영역에 대한 일차적인 지형 정보를 신속하게 사용자에게 제공하는 방안으로 RBGM이 적합함을 제시하였다. 또한 RBGM 모드 개발에 있어서 단계별로 고려해야 할 항목들을 제시하였고, 실제 제작한 레이더로 획득한 지상/비행 시험 영상을 통해 RBGM 영상으로 근거리의 지형 정보들을 구분할 수 있음을 확인하였다. 특히 반사 특성으로 인해 원거리에서도 해상 영역과 육상 영역이 뚜렷이 구분됨을 보였다. 추후 지형 타입과 스침각에 따른 후방 산란 계수를 데이터베이스(DB)화한다면 사용자에게 실시간으로 지형 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] W. Xie, G. Zhao, Y. Shao, and G. Deng, "Ground moving target detection technique for airborne fire-control radar," in *2013 6th International Congress on Image and Signal Processing(CISP)*, Hangzhou, Dec. 2013, pp. 1588-1592.

- [2] A. Moreira, P. Prats-Iraola, M. Younis, G. Krieger, I. Hajnsek, and K. P. Papathanassiou, "A tutorial on synthetic aperture radar," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, vol. 1, no. 1, pp. 6-43, Apr. 2013.
- [3] Y. Zhou, "Doppler beam sharpening technique for airborne pulse Doppler radar," *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, vol. 9, no. 12, pp. 574-581, 1988.
- [4] Y. Yuan, J. Sun, and S. Mao, "PFA algorithm for airborne spotlight SAR imaging with non-ideal motions," *IEE Proceedings of Radar, Sonar and Navigation*, vol. 149, no. 4, pp. 174-182, 2002.
- [5] J. C. Curlander, R. N. MacDonald, *Synthetic Aperture Radar: System and Signal Processing*, New York, NY, John Wiley & Sons, 1991.
- [6] S. G. Sun, B. L. Cho, J. S. Lee, G. C. Park, J. S. Ha, and S. H. Han, "Imaging method in time domain for bistatic forward-looking radar in short range application," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 22, no. 11, pp. 1054-1062, Nov. 2011.
- [7] J. Wu, J. Yang, Y. Huang, H. Yang, and H. Wang, "Bistatic forward-looking SAR: Theory and challenge," in *Proceedings of IEEE Radar Conference*, Pasadena, CA, May. 2009, pp. 1-4.
- [8] G. Kireger, J. Mittermayer, S. Buckreuss, M. Wendler, T. Sutor, and F. Witte, et al., "Sector imaging radar for enhance vision," *Aerospace Science and Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 147-158, 2002.
- [9] L. Chen, X. Li, and D. Chen, "The imaging algorithm of millimeter-wave forward-looking SAR," in *Proceedings of SPIE*, 2017, vol. 10322, pp. 103221J-1-10322J-8.
- [10] IAI, "ELM-2052: Airborne AESA fire control radar." Available: <https://www.iai.co.il/p/elm-2052>
- [11] A. Radonjić, S. R. Allred, A. L. Gilchrist, and D. H. Brainard, "The dynamic range of human lightness perception," *Current Biology*, vol. 21, no. 22, pp. 1931-1936, Nov. 2011.
- [12] T. Kunkel, E. Reinhard, "A reassessment of the simultaneous dynamic range of the human visual system," in *Proceedings of the 7th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization, APGV '10*, Los Angeles CA, Jul. 2010, pp. 17-24.
- [13] A. W. Doerry, "SAR image scaling, dynamic range, radiometric calibration, and display," *Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, SAND2019-2371*, Mar. 2019.

배 창 식 [한화시스템/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-3201-3848>



2015년 2월: 광운대학교 전자융합공학과 (공학사)

2017년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)

2017년 7월~현재: 한화시스템 선임연구원
[주 관심분야] GMTI, SAR, Radar System Design

조 재 형 [한화시스템/전문연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8555-7945>



2003년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)

2009년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)

2017년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2017년 6월: 한국과학기술연구원 박사후
연구원

2017년 6월~현재: 한화시스템 전문연구원

[주 관심분야] RADAR System, Microwave Imaging

홍 윤 석 [한화시스템/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8900-8601>



1996년 2월: 제주대학교 통신공학과 (공학사)
 2008년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
 2016년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 2002년 9월 ~ 현재: 한화시스템 수석연구

원

[주 관심분야] Radar System & Biosensor

김 민 지 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-0685-291X>



2009년 2월: 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
 2011년 2월: 한국과학기술원 바이오및뇌공학과 (공학석사)
 2016년 2월: 한국과학기술원 바이오및뇌공학과 (공학박사)
 2016년 3월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] Radar System Design, Synthetic Aperture Radar Processing

윤 보 람 [국방과학연구소/연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-5930-9094>



2014년 2월: 서울시립대학교 공간정보공학 및 컴퓨터과학과 (공학사)
 2016년 2월: 서울시립대학교 공간정보공학과 (공학석사)
 2016년 10월 ~ 현재: 국방과학연구소 연구원

[주 관심분야] 레이더 표적 탐지 및 추적,

AESA, 컴퓨터 비전, SLAM

한 승 훈 [한화시스템/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-6669-9318>



1999년 8월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)
 2001년 8월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
 2001년 06월 ~ 현재: 한화시스템(주) 수석연구원

[주 관심분야] Imaging RADAR