

안테나 소자 결함을 고려한 안테나 빔 패턴 재합성을 통한 위성 SAR 성능향상에 대한 연구

Study on Spaceborne SAR System Performance Improvements Using Antenna Pattern Resynthesis in Presence of Element Failure

강민석 · 원영진* · 임병균* · 김경태

Min-Seok Kang · Young-Jin Won* · Byoung-Gyun Lim* · Kyung-Tae Kim

요 약

위성 탑재체 합성 개구면 레이더(synthetic aperture radar: SAR) 시스템에서는 다양한 SAR 성능 변수의 제약조건을 충족하기 위해 안테나의 요구되는 특성을 분석하여야 한다. 본 논문에서는 결함 안테나 소자 존재 시 위성 SAR 안테나 빔 패턴을 최적화함으로써 SAR 시스템 성능변수를 최적화를 수행한다. SAR 시스템 성능변수 제약조건에 맞는 마스크 패턴을 설계한 후, 입자 군집 최적화(particle swarm optimization: PSO) 기법을 통해 마스크 패턴에 들어맞는 안테나 패턴 최적화 재합성을 수행한다. 시뮬레이션에서는 실제 위성 SAR 시스템 성능변수를 기반으로 안테나 빔 패턴 재합성을 수행하여 제안한 알고리즘의 성능을 확인한다.

Abstract

To meet the requirements of various satellite synthetic aperture radar(SAR) system performance parameters, the characteristics of the antenna pattern should be analyzed. In this paper, we propose a method to improve the SAR system performance using an effective technique for optimizing antenna pattern synthesis in the presence of element failure. The desired antenna pattern can be synthesized by referring to the optimized antenna mask templates using the particle swarm optimization algorithm. In the simulation, the performance of the proposed method is verified by analyzing characteristics related to the SAR system performance parameters using antenna pattern regeneration.

Key words: Spaceborne SAR, SAR System Performance, PSO, Phased Array Antenna, Antenna Pattern Regeneration

I. 서 론

위성 탑재 합성 개구면 레이더(synthetic aperture radar: SAR) 시스템의 수요가 증가함에 따라, 위성용 SAR 탑재

체의 성능 분석을 위한 소프트웨어 개발이 요구되고 있다^{[1]~[3]}. 위성에 탑재되는 SAR시스템에서 사용하는 주파수 및 펄스 반복 주파수(pulse repetition frequency: PRF)와 위성의 고도 및 속도, 스캔 방법 등의 조건에 대해 적절한

「이 연구는 한국항공우주연구원의 지원 및 관리로 수행되었습니다.」

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

*한국항공우주연구원(KOMPSAT-6 Program Office, Korea Aerospace Research Institute)

· Manuscript received May 16, 2018 ; Revised June 20, 2018 ; Accepted August 7, 2018. (ID No. 20180516-057)

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

거리 및 방위각 해상도, 모호성(ambiguity), noise equivalent sigma zero(NESZ) 등의 SAR 시스템 성능 변수의 특성을 얻기 위해서는 안테나의 요구되는 특성을 분석하여야 한다^{[4]~[7]}. 안테나의 크기 및 구조에 따라 나타나는 이득, 빔 폭, 부엽 레벨 등의 특성은 SAR 성능에 결정적인 영향을 미치게 되며, 결국 이는 최종 SAR 영상의 품질을 결정한다^[8].

위성용 SAR 안테나는 거리 방향으로 주엽에 의해 수신되는 원하는 신호와 부엽에 의해 수신되는 모호성에 의한 신호가 함께 수신된다. 거리방향 모호성의 정도를 나타내는 척도로서 거리방향 모호성 비(range ambiguity to signal ratio: RASR)라 하며, RASR이 증가하면 SAR 영상 내에서 클러터들에 의한 앨리어싱(aliasing) 현상이 발생한다^[6]. 결국, 최종 위성 SAR 영상에서는 표적 주변으로 실제 위치와는 다른 지점에 위치한 여러 클러터들이 영상 내에서 겹치게 된다. 이는 SAR 영상 해석, 탐지 및 식별에서 잘못된 결과를 초래할 수 있다. 이를 해결하기 위해 다양한 SAR 시스템 성능변수의 제약조건에 맞는 안테나 빔 패턴을 형성하기 위한 빔 패턴 마스크를 설계 연구가 진행되었다^{[4]~[6]}. 특히, RASR을 최소화하기 위해 빔 패턴의 고각 방향으로의 다양한 빔 패턴 최적화 기법이 소개되었다^{[4]~[8]}. 하지만 SAR 시스템 운용과정에서 안테나 소자의 결함이 존재하는 경우, 빔 패턴에서 불필요한 부엽(sidelobe level) 생성을 초래하며, 이는 SAR 시스템 성능의 저하를 야기한다. 능동 전자주사식 위상 배열 방식의 시스템에서는 안테나 소자의 결함이 발생하는 경우, 전체 시스템의 점진적 성능 하락(graceful degradation)을 위한 각 소자별 출력 크기 및 위상을 조정하여 최적의 성능을 유지하기 위한 기법이 요구된다. 상기 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 결함 안테나 소자가 존재하는 위성 SAR 안테나 빔 패턴을 최적화함으로써, SAR 시스템 성능 변수 최적화를 수행하였다. 빔 패턴 최적화를 수행하기 위해 설계된 마스크 패턴과 실제 빔 패턴 사이의 각 부엽 위치에서의 차이 값의 합을 최소화하는 비용함수를 설정한 후 입자 군집 최적화(particle swarm optimization: PSO) 기법^[9]을 사용하여 마스크 패턴에 들어맞는 빔 패턴을 형성하였다^{[6]~[8]}. 위성 SAR 시스템 변수들을 기반으로 안테나 소자의 결함이 존재하는 경우 제안한 기

법을 통해 SAR 시스템 성능변수를 만족하는 최적화된 빔 패턴을 형성하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 SAR 시스템 성능변수 분석 및 마스크 패턴 설계 기법을 설명한다. III장에서는 설계된 마스크 패턴에 들어맞는 안테나 빔 패턴 합성 및 최적화 기법을 서술한다. 마지막으로 IV장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 살펴보고 결론을 도출한다.

II. 본 론

2-1 SAR 시스템 성능변수 분석 및 마스크 패턴 설계

본 절에서는 SAR 시스템의 성능을 나타내는 성능 변수에 대해 알아보고 이를 향상시키기 위한 마스크 설계 방법을 살펴본다. 설계된 마스크 패턴에 따른 빔 패턴 최적화를 수행한 후 이를 SAR 시스템 성능 변수들을 통해 분석한다.

위성에 탑재되는 SAR에서 사용하는 PRF와 위성의 고도 및 속도, 스캔 방법 등의 조건에 대해 적정한 거리 및 방위각 해상도, NESZ, RASR 등의 SAR 특성을 얻기 위해서는 안테나 요구사항을 분석하여야 한다^[6]. SAR 시스템 설계에서 핵심이 되는 요소 중의 하나는 SAR 안테나 시스템이다. 안테나의 크기 및 구조에 따라 나타나는 이득, 빔 폭, 부엽 레벨 등의 특성은 SAR 성능에 결정적인 영향을 미치게 된다. 그림 1은 SAR 시스템 성능변수와 안테나 빔 패턴의 마스크 패턴 사이의 상관관계도이다. SAR 안테나의 크기, 즉 방위각 차원과 고각 차원에 따라서 3 dB

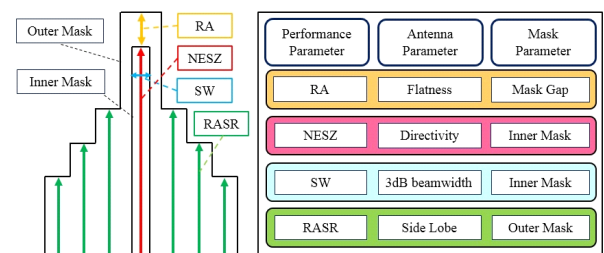


그림 1. 안테나 마스크 패턴과 SAR 시스템 성능변수의 관계도^[7]

Fig. 1. The relationship between SAR system performance and antenna mask pattern^[7].

빔 폭이 결정되며, 이에 따라서 방위각 방향의 분해능과 거리 방향의 관측 폭(swath width: SW)을 결정하게 된다. 그림 1에서 SW는 내부 마스크(inner mask) 패턴의 폭과 연결된다. 방사 정확도(radiometric accuracy: RA)는 영상 내에 반사도와 관계되며, 빔 패턴 주엽 부근의 외부 마스크(outer mask)와 내부 마스크 사이의 차이 값과 연결된다. NESZ는 SAR 시스템의 감도(sensitivity)에 관한 지표로, 낮은 값의 레이다 후방산란계수를 갖는 영역에 대한 시스템의 민감도를 나타낸다^[7]. NESZ는 빔 패턴 주엽의 3 dB 이득 값에 의존하며, 그림 1과 같이 내부 마스크 패턴의 높이 값에 해당한다.

모호성 비는 거리 모호성과 방위각 모호성으로 구분할 수 있으며, 각각 거리 방향의 모호성(RASR) 그리고 방위각 방향의 모호성(azimuth ambiguity to signal ratio: AASR)으로 불린다. 안테나 빔 패턴의 부엽 레벨로 인하여 수신된 SAR 신호는 원하는 신호와 원하지 않는 모호성 신호가 중첩되어 나타난다. 이러한 모호성의 존재는 SAR 성능변수의 성능을 저하시키며, 이로 인해 신호 대 모호성 비를 일정 수준 이하로 유지하는 것이 반드시 필요하다. SAR 안테나의 빔 모양, 즉 부엽 레벨에 따라서 SAR 시스템의 성능에 큰 영향을 주게 되는데, 부엽 레벨에 따른 시스템 영향성을 판단하는 지표가 RASR이다. 그림 1에서 외부 마스크 패턴의 부엽 레벨을 통해 RASR 값을 제어 가능하다. 한편, 방위각 모호성 AASR은 수신 신호의 방위각 주파수 스펙트럼에서 샘플링이 유한하게 수행되기에 발생하는 모호성이다. 방위각 주파수 스펙트럼은 주파수 영역에서 PRF 간격으로 본래 신호가 반복하여 위치한다. 주파수 영역에서 처리 대역폭(processing bandwidth) 내에서의 신호를 분석할 때, 반복 신호의 일부분이 이 공간에 위치하게 되는 앨리어싱 현상이 발생하게 된다. 이러한 신호는 주파수 영역의 신호처리를 방해하는 잡음(noise)으로 간주된다. 앨리어싱 현상은 펄스의 PRF 값을 조정함으로써 개선이 가능하다. 본 논문에서는 다양한 SAR 시스템 성능변수 중 RASR이 미치는 영향 및 특징에 대해서 자세히 살펴본다.

2-2 RASR의 개념 및 특징

RASR은 그림 2에서와 같이 주엽으로부터 본래 신호가

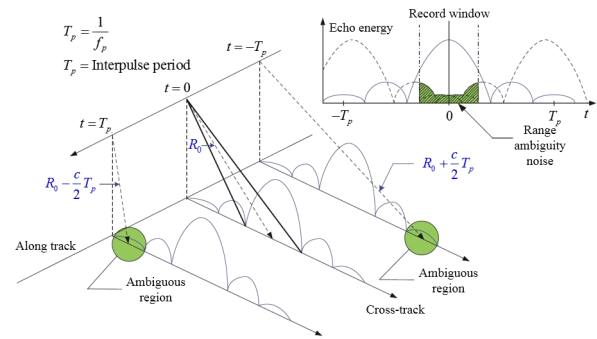


그림 2. 거리 모호성의 기하 형상^[3]

Fig. 2. The concept of range ambiguity^[3].

수신될 때 이전에 방사한 펄스들(preceding pulses) 및 이후에 방사한 펄스들(succeeding pulses)의 부엽에서 클러스터를 통해 형성된 신호가 동시에 안테나로 수신되기 때문에 발생하는데, 이는 고도에 비해 펄스 간 간격(interpulse period)이 상대적으로 짧은 위성 SAR 시스템에서만 야기되는 문제이다. 모호성 영역(ambiguous region)이란, RASR에 영향을 주는 부엽들이 위치하는 영역을 의미하며, 그림 2는 이러한 모호성 영역을 초록색으로 도시하였다. 이러한 거리 모호성은 위성용 SAR의 경우 최종 영상 품질에 상당한 영향을 미친다. 즉, SAR 영상 내에서 표적 주변으로 실제 위치와는 다른 지점에 위치한 여러 클러스터들이 영상 내에서 겹치게 된다. 이는 SAR 영상 해석, 탐지 및 식별에서 잘못된 결과를 초래할 수 있다.

RASR은 원하는 신호의 반사 신호(desired return signal) 대비 원치 않는 모호성 신호의 반사 신호(ambiguous return signal)의 비로써 정의되며 아래 식 (1)과 같다^[3].

$$RASR(t_k) = \frac{\sum_{j=-N_h, j \neq 0}^{+N_h} \frac{\sigma_{k,j} \cdot G(\theta_{k,j})}{(R_{k,j})^3 \cdot \sin(\psi_{k,j})}}{\frac{\sigma_{k,0} \cdot G(\theta_{k,0})}{(R_{k,0})^3 \cdot \sin(\psi_{k,0})}} = \frac{\sum_{j=-N_h, j \neq 0}^{+N_h} b_k \cdot G(\theta_{k,j})}{a_k} \quad (1)$$

$$a_k = \frac{\sigma_{k,0} \cdot G(\theta_{k,0})}{(R_{k,0})^3 \cdot \sin(\psi_{k,0})} \quad (2)$$

$$b_{k,j} = \frac{\sigma_{k,j}}{(R_{k,j})^3 \cdot \sin(\psi_{k,j})} \quad (3)$$

$\sigma_{k,j}$ 는 k 번째 t_k 시간에서 j 번째 펄스의 후방산란 계수(backscattering coefficient)를 나타내며, $\psi_{k,j}$ 는 빔 패턴의 입사각, $G(\theta_{k,j})$ 는 빔 패턴을 각각 나타낸다. RASR 요구조건을 만족시키기 위해 식 (2)에서 SAR 기하도에 의한 영향($b_{k,j}$)과 빔 패턴 주엽에 의한 영향($a_{k,j}$)은 고정시킨 채, 부엽에 해당하는 빔 패턴 $G(\theta_{k,j})$ 만을 변화시킨다. RASR 값이 클수록 주엽에 의한 표적 신호 성분에 대하여 부엽에 의한 클러터 성분이 미치는 영향이 작음을 나타낸다.

다음은 RASR 요구조건을 만족시키기 위해 모호성 부엽에 해당하는 마스크 패턴 레벨을 감소시키기 위한 기법을 살펴본다. 본 논문에서는 모든 모호성 부엽에 해당하는 안테나 마스크 패턴 부분을 균일하게 감소시키는 방식으로 마스크 패턴을 설계하였다. 식 (4)는 RASR 요구조건 $[RASR_{req}]_{dB}$ 이 현재 RASR $[RASR(t_k)]_{dB}$ 보다 x dB 만큼 낮을 경우 감소시켜야 하는 모호성 마스크 패턴의 레벨을 나타낸다. 식 (4)는 감소된 마스크 패턴을 따라 최적화를 수행 시 모호성 영역의 부엽 레벨은 감소된 마스크 패턴만큼 아래로 평행 이동함을 나타낸다.

$$\begin{aligned} [RASR_{req}]_{dB} &= [RASR(t_k)]_{dB} - xdB \\ &= \left[\frac{\sum_{j=-N_h, j \neq 0}^{+N_h} b_k \cdot \left(\frac{G(\theta_{k,j})}{10^{\left(\frac{x}{10}\right)}} \right)}{a_k} \right]_{dB} \\ &= \left[\frac{\sum_{j=-N_h, j \neq 0}^{+N_h} b_k \cdot \hat{G}(\theta_{k,j})}{a_k} \right]_{dB} \quad (4) \end{aligned}$$

식 (5)에서 $\hat{G}(\theta_{k,j})$ 는 x dB만큼 감소시키고 난 후 빔 패턴의 부엽 레벨을 나타낸다. 식 (4)의 결과로부터 안테나 마스크 패턴을 x dB만큼 감소시킬 경우 RASR 또한 x dB만큼 감소함을 확인할 수 있다.

2.3 안테나 빔 패턴 합성 및 최적화 기법

평면 배열 안테나 구조는 2차원 평면상에 안테나 소자

들이 수직 및 수평 축에 대해 각각 등 간격으로 배치된 형태를 의미한다. 이러한 평면 배열 안테나에서 방사되는 빔 패턴의 수식은 선형 배열 안테나와 마찬가지로 안테나 소자 하나에서 방사되는 패턴과 평면에 배치된 소자들의 기하학적 구조에 따라 형성되는 배열 패턴의 곱으로 표현되며, 이는 결국 평면을 이루는 2개의 직교하는 1차원 선형 배열 안테나 빔 패턴의 곱으로 표현 가능하다. 본 논문의 SAR 시스템 성능변수 최적화 문제는 선형 배열 안테나에서 설계된 마스크 패턴에 들어맞는 빔 패턴 형성 문제를 다루기 때문에 평면 배열 안테나에서 빔 패턴 최적화는 고각 방향의 1차원 선형 배열 안테나에 대해서만 최적화를 다루기로 한다^[8].

마스크 패턴에 들어맞는 빔 패턴을 만들기 위해서는 안테나 소자의 급전하는 전류의 크기와 위상을 결정해야 하며, 이는 최적화 문제로 직결된다. 빔 패턴 최적화와 같은 고차원 최적화 문제를 해결하기 위해 생태계 모방 알고리즘의 하나인 입자 군집 최적화(PSO)^[9]를 적용하면 기존의 기울기 하강(gradient descent) 기반 최적화 알고리즘들과 비교하여 차원의 수가 증가하더라도 최적의 해인 전역 최대치(global optima)에 빠른 수렴이 가능하며 연산량 또한 효과적으로 개선할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 고차원 최적화 문제 해결에 적합한 PSO를 사용하여 빔 패턴 최적화를 수행한다. 주어진 최적화 문제를 해결하기 위해서 설정된 비용함수는 원시 빔 패턴에서 마스크 패턴의 상한계(upper bound)와 하한계(lower bound)를 각각 초과하는 부분을 절대 값을 취해 모두 더한 값이다. 비용함수를 수식으로 표현하면 식 (5)와 같다.

$$Cost = \sum |Magnitude - Limit| \quad (5)$$

식 (5)에서 *Magnitude*는 각 지점에서 빔 패턴의 값을 나타내며, *Limit*는 마스크 패턴의 각 위치에서의 값을 나타낸다. *Cost* 값이 최소가 되면 마스크 패턴에 들어맞는 최적화된 빔 패턴을 형성할 수 있다. 비용함수가 최적화될 때까지 PSO 알고리즘을 반복 실행하여 안테나 소자의 급전 신호인 크기와 위상 성분을 산출한다. 최적화된 빔 패턴에 대한 급전 신호의 크기와 위상 값을 평면 배열 안테나 구조에 고각 방향으로 모두 동일하게 배치한다. PSO 기법을 통해 결정된 안테나 소자의 급전하는 전류의 크

기와 위상을 기반으로 고각 방향의 마스크 패턴에 최적화된 평면 배열 빔 패턴을 형성할 수 있다.

2.4 결함 안테나 소자가 존재하는 경우 안테나 패턴 재합성

실제 위성 SAR 탑재체 운용 시 배열 안테나의 소자 결함으로 인해 안테나 패턴이 왜곡되어 SAR 시스템 성능에 영향을 줄 수 있다. 이는 의도치 않은 부엽 레벨을 생성시키며, 패턴 합성 성능을 크게 저하시킨다. 따라서 본 논문에서는 결함 안테나 소자가 존재하는 경우, 제안된 기법을 적용하여 위성 SAR 시스템 성능변수 최적화를 위한 안테나 빔 패턴 재합성을 수행한다. 결함 안테나 소자들을 제외한 나머지 소자들을 이용하여 마스크 패턴에 들어맞는 빔 패턴을 형성한다. 비균등하게 배치된 1차원 선형 배열 안테나 소자(그림 3)들에 대하여 PSO 기법을 적용하면 안테나 소자의 급전 신호의 크기 및 위상을 추정할 수 있다. 따라서 제안된 알고리즘을 통해 결함 안테나 소자가 존재하는 경우 SAR 시스템 성능변수에 따른 마스크 패턴에 들어맞는 안테나 빔 패턴 재합성이 가능하다.

III. 시뮬레이션 결과

이 장에서는 본문에서 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위해서 점 산란원 모델(그림 4)을 표적으로 한 SAR 수신신호를 형성하였다. 영상레이다를 탑재한 위성에서 쓰이는 여러 설계 변수를 적용하여 평면 배열 안테나의 빔 패턴 및 그림 4과 같은 시나리오에 대한 위상 SAR 시뮬레이션을 구현하였다. 그림 4에서 빨간색 점 산란원은

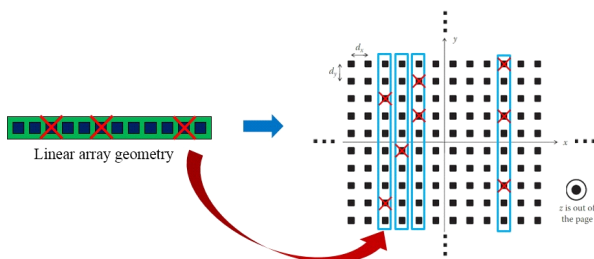


그림 3. 결함 안테나소자 존재 시 이용한 빔패턴 최적화
Fig. 3. The beam pattern optimization in presence of element failures.

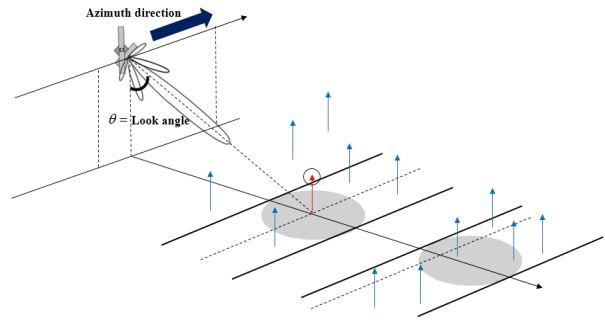


그림 4. 위성 SAR 시뮬레이션 개념도
Fig. 4. The spaceborne SAR geometry.

표적을 나타내며, 파란색 산란원은 클러스터를 나타낸다. 이때, 시뮬레이션 설계 변수는 표 1과 같다.

클러스터 또한 점 산란원으로 모델링하였고, 각 모호성 영역에 배치될 클러스터의 수는 모호성 영역의 폭에 비례하게 선택한 뒤 각 영역에 무작위로 배치하였다.

표 1의 시뮬레이션 설계 변수에 따라 안테나 빔 패턴을 생성하였다. 그림 5(a)는 설계한 안테나의 급전 소자의 크기 및 위상 값을 균일 분포로 설정하였을 때 형성되는 원시 빔 패턴이며, 송신과 수신 빔 패턴의 곱인 two-way 빔 패턴을 도시한다. 그림 5(b)는 원시 빔 패턴의 RASR 그래프를 나타내며, 최대값은 -20.0586 으로 계산되며, 이는 RASR 요구조건을 충족하지 못한다.

그림 5(c)는 결함 소자가 없을 경우 PSO 알고리즘 기법을 적용하여 형성된 빔 패턴 결과이다. 빔 패턴 최적화를 수행하기 위해 먼저 원시 빔 패턴의 마스크 패턴을 형성

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

The number of targets	1
The number of clutters	2,000
The number of ambiguous regions	62
Operating frequency	9.65 GHz
RASR requirement	≤ -21 dB
Antenna beam width(Elevation direction)	2.39 deg
Antenna beam width(Azimuth direction)	0.35 deg
Radiating elements(Elevation \times Azimuth)	32 \times 192
Altitude	550 km

한 뒤 모호성 영역을 계산하여 해당 영역의 부엽에 해당하는 안테나 마스크 패턴을 감소시켰다. 그림 5(c)의 붉은 색과 파란색 선은 송신과 수신 마스크의 곱의 결과인 two-way 마스크 패턴과 마스크에 대해 최적화된 two-way 빔 패턴을 각각 나타낸다. SAR 시스템 성능변수를 만족시키기 위한 RASR 요구조건을 원시 빔 패턴으로부터 획득한 RASR 최대값(그림 5(b) 붉은색 곡선)과 약 3 dB 차이 나는 -23 dB로 설정하였다. RASR 요구조건을 만족시키기 위해 모호성 영역에 해당하는 부엽에 모두 동일한 마

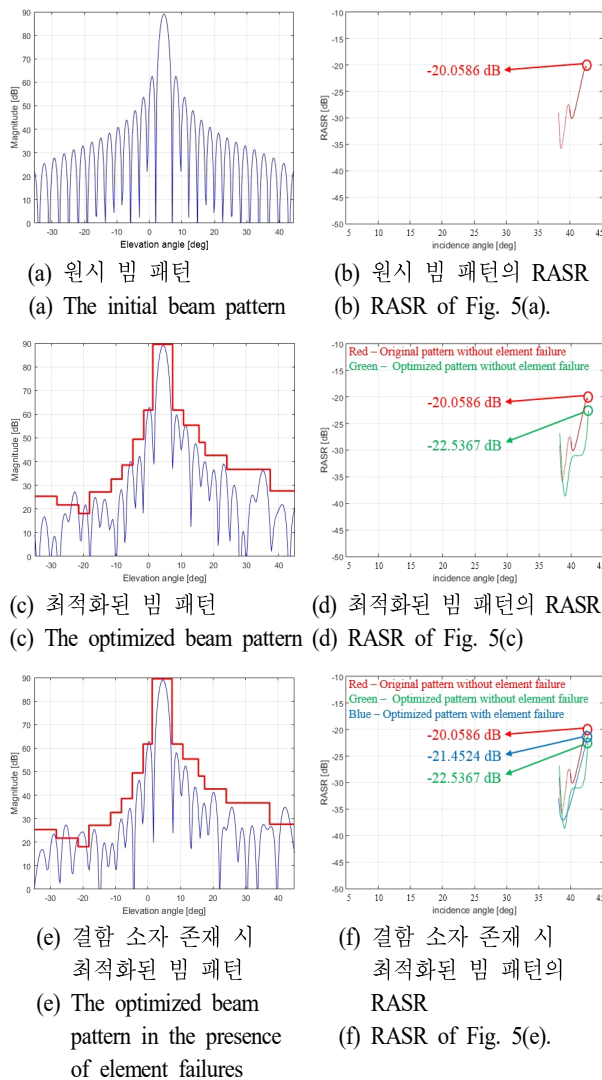


그림 5. 안테나 빔 패턴 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation results of antenna pattern synthesis.

스크 패턴 레벨을 감소시켰다. 이에 해당하는 RASR의 최대값은 -22.5367 로 계산되었다(그림 5(d)). 이 값은 주어진 SAR 시스템 성능변수 요구조건을 만족한다.

한편, 전체 소자 개수에 5 %에 해당하는 결함 안테나 소자를 평면 배열 안테나에 무작위로 배치하였을 때 빔 패턴 최적화를 수행하였다. 그림 5(e)는 결함된 안테나 소자 존재 시 입력된 two-way 마스크 패턴을 통해 PSO 알고리즘으로 최적화를 수행한 two-way 빔 패턴 결과이다. 설계된 마스크 패턴에 잘 들어맞는 빔 패턴이 형성됨을 확인할 수 있다. 그림 5(f)는 최적화된 빔 패턴의 RASR 그래프를 나타낸다. RASR의 최대값은 -21.4524 dB로 계산되었으며, 결함 안테나 소자가 존재하지 않는 경우와 비교하여 RASR 값이 상승하였지만 RASR 값을 -20 dB 이하로 설계하는 SAR 시스템 성능변수 요구조건은 만족하는 결과이다. 따라서 결함 안테나 소자가 존재하더라도 빔 패턴 최적화를 통해 SAR 시스템 성능변수 최적화가 가능함을 확인하였다.

그림 6은 동일한 시뮬레이션 환경에서 결함 안테나 소자의 개수(%)에 따른 RASR 값의 변화를 도시하였다. 결함 안테나 소자의 개수가 증가할수록 RASR의 개선량이 감소함을 확인할 수 있다. 실험결과에 따르면 본 논문에서 사용된 SAR 시스템의 경우 안테나 빔 패턴 최적화를 수행 시 결함 소자의 개수가 약 7 % 이내로 존재한다면 RASR 조건을 충분히 만족하는 것으로 관찰된다.

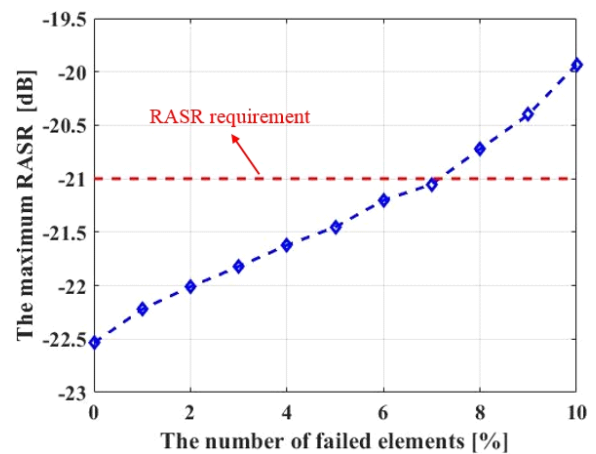


그림 6. 결함 안테나 소자 개수에 따른 RASR 그래프
Fig. 6. The number of failed elements vs. its RASR.

결과적으로 위성 SAR 시스템 성능 변수 분석을 바탕으로 결함 안테나 소자가 존재하더라도 고각 방향의 안테나 빔 패턴 최적화를 통해 거리 모호성의 영향을 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 위성용 SAR 탑재체와 관련하여 SAR 시스템 성능 분석 및 안테나 패턴 합성 기법 연구를 통해 결함 안테나 소자가 있는 경우 SAR 안테나 패턴 재합성을 수행하였다. 결함 안테나 소자를 제외한 나머지 소자들의 출력 크기 및 위상을 조정하여 RASR의 점진적 성능 하락을 위한 빔 패턴 재합성을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 위성 SAR 설계 변수를 이용하여 안테나 빔 패턴 형성 및 최적화를 수행하였다. 위성 SAR 시스템 성능변수의 제약조건을 충족하는 안테나 마스크 패턴을 설계하고, 입력 마스크 패턴에 대해 PSO 알고리즘을 적용하여 마스크 패턴에 들어맞는 안테나 빔 패턴을 형성하였다. 실험 결과, 결함 안테나 소자가 존재하는 경우, 재합성을 통해 최적화된 빔 패턴은 결함 소자가 없는 경우에 비하여 다소 높은 RASR 값을 획득하였지만, 주어진 SAR 시스템 성능변수 조건은 충분히 만족함을 확인할 수 있었다. 이를 통해 위성 운용 중 안테나 소자의 결함 발생 시 제한된 위성 SAR 안테나 빔 패턴 재합성 기법의 적용을 통해 SAR 시스템 성능변수를 개선할 수 있음을 확인하였다.

References

[1] S. Barbarossa, G. Levrini, "An antenna pattern synthesis technique for spaceborne SAR performance optimization,"

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 29, no. 2, pp. 254-259, Mar. 1991.

[2] M. I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, 3rd ed. McGraw-Hill, 2001.

[3] J. C. Curlander, R. N. McDonough, *Synthetic Aperture Radar: System and Signal Processing*, New York, John Wiley & Sons, 1991.

[4] S. Y. Kim, J. H. Hwang, B. T. Jeon, C. H. Kim, and N. H. Myung, "Optimal antenna pattern design for synthesis aperture radar using particle swarm intelligence," in *Proceedings 4th ISAP*, Niigata, 2007, pp. 1027-1030.

[5] S. Y. Kim, N. H. Myung, and M. J. Kang, "Antenna mask design for SAR performance optimization," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 6, no. 3, pp. 443-447, Jul. 2009.

[6] Y. J. Won, J. H. Lee, "Spaceborne SAR performance improvement by antenna pattern optimization," in *2016 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Okinawa, 2016, pp. 850-851.

[7] Y. J. Won, K. H. Lee, and J. H. Lee, "Performance improvement of spaceborne SAR using antenna pattern synthesis based on quantum-behaved particle swarm optimization," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2017, p. 6928970, 2017.

[8] 원영진, 이재현, "위성용 영상레이다 시스템 성능 분석 시뮬레이터 개발," *한국항공우주학회지*, 45(4), pp. 318-327, 2017년 4월.

[9] J. Kennedy, R. C. Eberhart, *Swarm Intelligence*, San Mateo, CA, Morgan Kaufmann, 2001.

강 민 석



2013년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 2015년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2015년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정
 [주 관심분야] 레이더 신호 처리, ISAR 및 SAR 이미징, 배열 안테나 합성, 회소 신호 처리

임 병 균



2004년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)
 2010년 8월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
 2010년 12월~현재: 한국항공우주연구원 선임연구원
 [주 관심분야] 합성개구면레이더 신호처리

원 영 진



2001년 2월: 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2003년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2017년 8월: 충남대학교 전자전파정보통신공학과 (공학박사)
 2003년 2월~2005년 7월: LG전자 단말연

구소 주임연구원

2005년 8월~현재: 한국항공우주연구원 책임연구원
 [주 관심분야] 영상레이더 탑재체 시스템 성능 분석, 배열 안테나 설계, 인공위성 전기시스템 설계

김 경 태



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

공학과 교수

2011년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수
 2012년 9월~2017년 12월: 레이더/IR 표적식별 특화연구실 실장
 2018년 3월~현재: 무인감시정찰기술연구센터 센터장
 [주 관심분야] 레이더 신호 처리 및 영상, 레이더 표적인식 및 패턴인식, 전자기수치해석 및 RCS 측정 등