

다중대역 SweepSAR 운용 모드의 시스템 성능 분석

System Performance Analysis for Multi-Band SweepSAR Operating Mode

윤성식 · 이재욱 · 이택경 · 유상범* · 이현철* · 강은수* · 이상규*

Seong-Sik Yoon · Jae-Wook Lee · Taek-kyung Lee · Sang-Burm Ryu* ·
Hyeon-Cheol Lee* · Eun-Su Kang* · Sang-Gyu Lee*

요 약

본 논문에서는 고해상도 광역관측을 위한 위성 영상레이다(Synthetic Aperture Radar)의 시스템 주요 성능을 분석하였다. 배열 급전을 이용하는 반사판 안테나의 패턴을 활용하였으며, 기존의 광역관측 모드인 ScanSAR 모드와 SweepSAR 모드에 대해서 비교 분석하였다. SweepSAR 모드는 넓은 범위에 빔을 송신하고, SCORE(SCan On REceive)를 기반으로 순차적으로 빔포밍을 통해 반향신호를 수신하는 고해상도 광역관측 모드이다. 본 논문에서는 SweepSAR 모드로 동작하는 위성의 동작원리 및 특징을 분석하고, 시스템 성능 파라미터를 시뮬레이션 해석하였다. 또한, 영상의 활용도를 증대시키기 위해서 다중 주파수 대역(C-band, X-band)에 대하여 성능 분석을 수행하였다.

Abstract

In this paper, we analyze the main performance of satellite's Synthetic Aperture Radar system for high resolution and wide swath. We have used the radiation pattern of reflector antenna with array feed and comparison between the conventional ScanSAR mode and SweepSAR mode has been carried out. The SweepSAR mode is a high-resolution wide-swath mode that transmits beams over a wide range and receives echo signals through sequential beamforming based on SCORE(SCan On REceive). In this paper, we analyzed the operating principle and characteristics of satellite's SweepSAR mode and simulate system performances. In addition, in order to increase the utilization of image, performances analysis for multiple frequency bands(C-band, X-band) has been considered.

Key words: SAR(Synthetic Aperture Radar), HRWS(High Resolution Wide Swath), SweepSAR, Antenna Pattern, NESZ(Noise Equivalent Sigma Zero), Ambiguity Ratio

I. 서 론

영상레이다(Synthetic Aperture Radar)는 날씨 의존도가 높은 광학기술의 단점을 개선하여 전천후로 넓은 지역의 영상을 고해상도로 수신 가능하며, 레이더 시스템의 크기 감소를 도모할 수 있어 우주항공분야에서 민수, 과학, 군

사용으로 이용이 증가하는 추세이다^[1]. 이에 따라 최근 영상레이더 기술은 다중주파수, 다편파모드^[2], 다중 빔^{[3][4]} 기술을 이용하여 고해상도의 표적 식별 능력을 향상시키고 탑재체의 무게를 줄이기 위해 안테나 및 송수신 모듈을 소형, 경량화 하는 등의 고성능 SAR 위성개발이 이루어지고 있다. 특히 기상 예측 및 빙하, 토양 측정을

「이 연구는 2016년도 한국항공우주연구원 연구비의 지원으로 연구되었음.」

한국항공대학교 항공전자정보공학과(Department of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University)

*한국항공우주연구원 탑재체전자팀(Payload Electronics Team, Korea Aerospace Research Institute)

· Manuscript received November 14, 2016 ; Revised January 25, 2017 ; Accepted March 3, 2017. (ID No. 20161114-118)

· Corresponding Author: Jae-Wook Lee (e-mail: jwlee1@kau.ac.kr)

위한 SAR 위성은 짧은 재방문 주기(Revisit Time) 내에 광역 감시(Global Monitoring)가 요구된다. 기본적으로 운용되는 SAR 동작모드인 Stripmap 모드는 일정한 Squint각, 시야각을 가지고 방위방향으로 위성 플랫폼이 이동하면서 반향신호를 획득하므로 관측 범위가 제한적이다. 동일 운용 모드에서 넓은 관측 범위를 갖도록 하기 위해 저주파 캐리어신호를 활용하거나 안테나의 물리적 길이를 작게 하거나 높은 운용고도를 적용하는 방안도 있으나, 이는 신호 감도를 악화시켜 잡음에 신호가 묻히는 상황을 초래할 수도 있다. 이를 보완하기 위한 스캔 모드는 고각(elevation) 방향으로 안테나 빔을 조향하여 순차적으로 버스트(burst) 신호를 수신하는 방식이다^[5]. 이는 안테나 빔 영역의 일부만을 활용하는 것으로 획득한 데이터 사이에 일정한 공백이 존재하고, 단위면적에 대해 빔을 조사하는 시간(dwelling time)이 타 모드에 비해 감소하므로 방위방향 해상도는 낮아지는 결과로 이어진다^[6]. 이처럼 관측 범위와 해상도는 서로 Trade-Off 관계에 있으며, 국외에서는 고해상도 특성과 광역감시 운용을 모두 만족하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 SAR 시스템의 근본적인 제약을 극복하기 위해 나온 기술들은 DP-CA(Displaced Phase Centre Antenna), 4분 배열(Quad-Array) 시스템과 같이 수신 안테나를 다수의 부개구면(Multiple Sub-Aperture)으로 구성하는 시스템이 개발되었다. DPCA는 같은 지역에 대해 반향되는 여러 개의 수신 빔을 활용하여 위상 중심이 다른 빔에 의해 데이터들을 수신하여 모호 신호를 억압하기에 유리하다^{[7],[8]}. TOPS(Terrain Observation Progress Scan) SAR는 스캔 모드와 같이 고각방향으로 빔 조향을 하면서 방위(azimuth)방향으로도 스캔하여 스캘러핑(scalloping) 효과를 줄일 수 있고, 모호성(ambiguity) 성능을 향상시킨다. 하지만 2차원 위상 배열 안테나가 요구되며, 송·수신 모듈이 복잡하게 되는 단점이 있다^{[9],[10]}. SweepSAR 시스템은 다수의 부개구면 안테나를 활용하는 광역 감시 SAR 기술에서 반사판 안테나에 급전 혼 배열안테나를 적용한 것으로 넓은 관측 범위에 빔을 송신하고 좁은 범위의 반향신호를 스위프(sweep)하여 수신하는 방식이다. SweepSAR 기술은 다수의 부개구면을 활용하는 방식보다 하드웨어 운용 측면에서 효율이 우수하고, 스캔 모드의 SAR 시스템에 비해 상대적으로

세밀한 방위방향 분해능을 가지며, 낮은 송신 전력으로 운용이 가능한 장점이 있다. 본 논문에서는 SweepSAR 모드로 운용되는 기본 원리를 소개하고, 적절히 동작하기 위한 PRF 및 안테나 패턴 선정 과정에 대해서 정리하였다. 또한, 기존의 광역 관측 모드인 Scan 모드와 시스템 성능을 비교 분석하였다.

II. SweepSAR 모드 설계

2-1 SweepSAR 모드 동작 원리

SweepSAR 모드는 광학 기술의 whiskbroom 스캔과 유사한 원리이다. 큰 반사판 안테나에 1차원 급전 배열이 필요하다. 그림 1과 같이 배열 급전은 고각 방향으로 빔 조향이 가능하도록 하였으며, 송신할 때 여러 개의 급전 혼이 동시에 여기되어 지상에 비추어지는 관측 폭이 충분히 넓게 형성되도록 하며, 수신할 때 송신할 때에 비해 적은 수의 급전 배열 소자가 여기되도록 하여 좁은 관측 폭으로부터 반향신호만 수신하도록 한다^[11]. 이 때, 급전 배열 신호를 제어하는 방법으로 아날로그 빔 포밍 혹은 디지털 빔 포밍 방식을 이용할 수 있다. 두 방식 모두 사용이 가능하고, 아날로그 방식이 더욱 간소하게 운용될 수 있고, 데이터율이 낮은 장점이 있지만 최대 펄스 지속 시간이 제한되며, 타 주요 성능에 있어서 디지털 방식에 못 미치는 단점이 있다. SweepSAR 방식은 RF/디지털 수신단이 하나만 요구된다는 점에서 DBF(Digital Beam

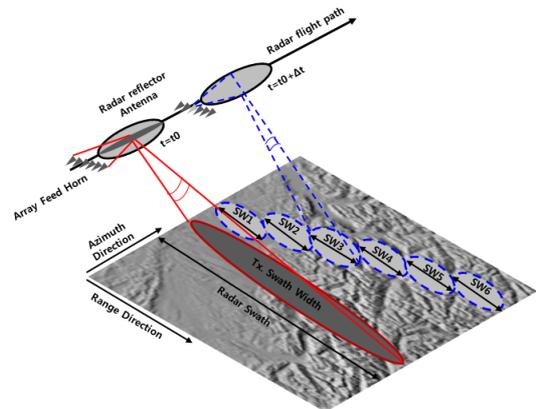


그림 1. SweepSAR 모드 기하구조
Fig. 1. Geometry of SweepSAR mode.

Forming) SAR와 구분된다. 따라서 고해상도의 품질이 요구되지 않거나 데이터 전송 속도가 제한되는 경우, 아날로그 빔포밍을 활용한 SweepSAR 시스템의 활용은 스캔 SAR 모드보다 우수한 성능을 가지며, 디지털 빔포밍을 활용한 SAR보다 간단한 수신단을 구성할 수 있는 장점이 있다.

2-2 주요 파라미터

SAR 시스템을 설계하면서 고려해야 하는 파라미터들은 여러 가지가 있으며, 이러한 설계변수들은 SAR 시스템 성능을 결정하는데 영향을 주므로 변수간 상관관계를 파악하고 원리를 이해하는 것이 필요하다.

2-2-1 운용 주파수

운용 주파수는 SAR 위성을 이용하여 관측, 탐지하고자 하는 표적의 종류에 따라 결정되며, 원격탐사용으로 사용되는 위성 SAR의 경우, S-, C-, X- 밴드를 주로 사용하고, 각 주파수 밴드별로 세계 무선 통신 주관청에서 할당된 최대 허용 밴드 폭이 제한된다^[11]. 원하는 빔 형성을 위한 안테나의 크기가 파장의 길이에 따라서 결정되고, 대역별로 경로 내 간섭현상이나 후방산란계수가 다르게 적용되며, 대역폭에 따라서 거리방향의 해상도가 결정되므로, 운용하려는 주파수 대역의 결정은 중요한 설계 요소이다. 본 논문에서는 C-대역과 X-대역 주파수에서 동시에 운용이 되는 시스템 성능을 예측하였다.

2-2-2 PRF(Pulse Repetition Frequency)

PRF의 선정은 SAR 시스템을 설계하는데 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 먼저, PRF 값에 따라서 영상의 모호 레벨이 결정되기 때문에 최소, 최대 범위를 구할 수 있다. SAR는 도플러 정보를 앨리어싱 없이 정확히 추출하기 위해서 PRF를 나이퀴스트 샘플링조건에 만족하도록 해야 한다. 위성 SAR의 PRF는 입사각과 함께 방위방향, 거리방향 모호성비를 결정하는 주요 변수이므로 성능 비교를 통해서 결정이 필요하다^[12]. 이 밖에도 PRF는 송수신 시간과 직하(nadir)방향의 Speckle 잡음의 수신 시간 및 레벨을 고려하여 타이밍 다이어그램(다이아몬드 다이어그램)

을 생성하여 활용가능한 범위를 선정하고, 평균 송신 전력이나 수신 영상의 데이터 유효도 영향이 있으므로 이에 맞는 적절한 하드웨어 설계가 필요하다.

2-2-3 모호성비

주기적인 펄스신호를 이용하는 SAR 영상은 모호신호에 의해서 영상 질의 저하를 초래할 수 있다. 거리방향 모호성비(Range Ambiguity to Signal Ratio)는 PRF와 관측 위치, 안테나 빔 패턴에 따라서 식 (1)을 이용하여 계산 가능하다. 방위방향 모호성비(Azimuth Ambiguity to Signal Ratio)는 샘플링된 도플러 정보의 모호함에 의해 발생되며, 식 (2)로부터 계산이 가능하다. 식에서 G_t, G_r 는 송·수신 이득, n 은 불연속 모호 신호의 rank, PB 는 도플러 대역폭, θ_I 는 입사각을 의미한다^[12].

$$RAR = \frac{\sum_{n \neq 0} \frac{G_t(\theta_A(n))G_r(\theta_A(n))}{\rho_{RA}^3(n)\sin(\theta_I(n))}}{\frac{G_t(\theta_A(0))G_r(\theta_A(0))}{\rho^3\sin(\theta_I)}} \quad (1)$$

$$AAR = \frac{\sum_{n \neq 0} \int_{PB} G_t(\theta_{AZ}(n))G_r(\theta_{AZ}(n))d\theta_{AZ}(n)}{\int_{PB} G_t(\theta_{AZ}(0))G_r(\theta_{AZ}(0))d\theta_{AZ}(0)} \quad (2)$$

2-2-4 NESZ(Noise Equivalent Sigma Zero)

NESZ는 영상의 화질을 결정하는 중요한 시스템 변수로써 주어진 관측 폭에서 반사되는 신호의 크기가 수신기의 잡음과 동등하게 되는 표적의 반사도로 정의된다. 레이더 방정식으로부터 유도하여 식 (3)과 같이 표현이 가능하다. k 는 볼츠만 상수, B 는 신호의 대역폭, NF 는 잡음상수, L_{tot} 는 전체 손실, τ 는 펄스길이이다^[13].

$$NESZ = \frac{4(4\pi)^3 \rho^3 V \sin\theta_i k T N F B L_{tot}}{\lambda^3 c G_t(\theta_i) G_r(\theta_i) \tau P_t PRF} \quad (3)$$

2-3 SweepSAR 모드 설계

2-3-1 PRF 선정

표 1. 다중대역 SweepSAR 목표 성능

Table 1. Requirements on multi-band SweepSAR performance parameter.

파라미터	채널 1	채널 2
고도	505 km	
주파수	C 밴드(5.4 GHz)	X 밴드(9.66 GHz)
관측 폭	≥ 150 km	
해상도(Az.×Rz.)	10 m×10 m	15 m×15 m
모호성비 (RASR, AASR)	≤ -20 dB	
NESZ	≤ -20 dB	
잡음상수	6 dB	
시스템 손실	2.4 dB	
Sub-swath 수	6	8

다중 채널 SweepSAR 모드의 주요 성능을 분석하기에 앞서 전체 관측 폭에 대한 PRF를 선정해야 한다. 표 1은 대역별 영상 레이더의 목표 성능과 하드웨어 사양에 따른 성능을 정리한 것이다. 위성 고도와 목표 관측 폭을 고려하여 목표 임무를 위해 입사각 범위를 20°~35°로 설정하였다. 펄스를 이용하는 모노스태틱 레이더이므로 송신 펄스와 직하방향에서 반사되어서 오는 신호를 고려하여 다이아몬드 다이어그램을 생성하고 가용 범위에서 PRF를 선정해야 한다. ScanSAR 모드는 각 Sub-Swath마다 PRF를 달리하여 전체 관측 폭의 영상을 획득하지만, SweepSAR 모드는 전체 폭에 대하여 하나의 송신 빔으로 관측이 이루어져야 하며, 이를 위하여 그림 2와 같이 낮은 PRF 신호를 선정한다. 그림 2는 펄스의 듀티비를 10%로 설정했을 때의 다이아몬드 다이어그램이다. 33.5° 내외에서 직하방향 신호와 겹치는 시간이 발생하지만, 해당 위치에서 충분히 낮은 레벨로 수신되기 때문에 무시할 수 있다.

2-3-2 반사판 안테나 패턴 설계

SweepSAR 모드로 운용하기 위한 반사판 안테나 및 RF 송·수신 모듈의 구성은 그림 3과 같다^[14]. 송신 시에는 모든 급전 배열 안테나에 신호를 여기하여 넓은 빔으로 조사하고, 수신 타이밍을 고려하여 각 급전의 ON/OFF를 제어하여 순차적으로 반향신호를 수신한다. 서로 다른 주

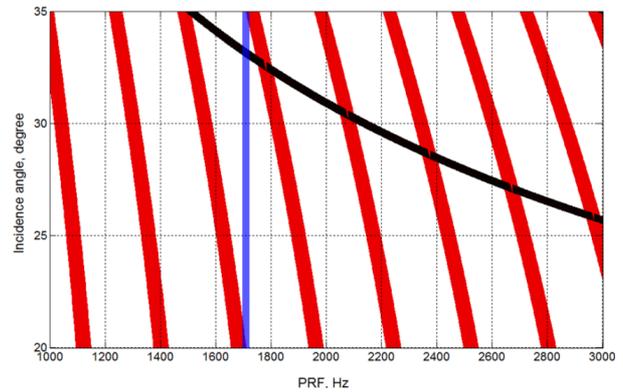


그림 2. SweepSAR 모드 다이아몬드 다이어그램

Fig. 2. Diamond diagram for SweepSAR mode.

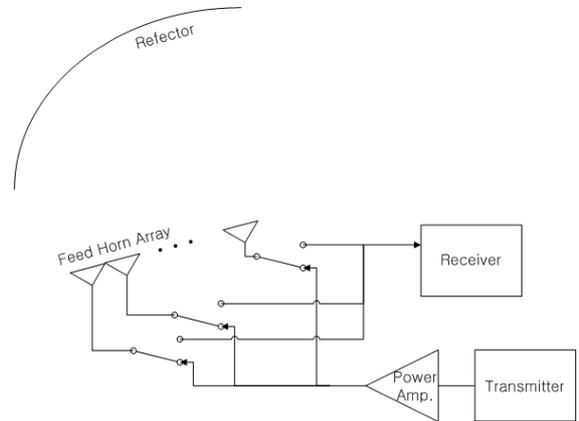


그림 3. SweepSAR용 반사판 안테나 시스템

Fig. 3. Reflector antenna system for SweepSAR.

파수의 급전은 서로 다른 방위방향 좌표를 갖는 평면에 배열되도록 하였고, 급전 배열에 의한 급전 장애(Feed Blockage)를 피하기 위해 오프셋 반사판 안테나 형태로 설계하였다. 앞서 선정한 PRF의 값이 ScanSAR 모드에 비해서 매우 낮기 때문에 방위방향 모호성 문제를 해결하기 위해 방위방향 안테나 길이를 13.5 m로 증가하였다.

그림 4는 C-대역 거리방향 송·수신 패턴이고, 그림 5는 C-대역에서 동작하는 3 m 길이의 오프셋 반사판 안테나 시뮬레이션 결과에서 반사판의 방위방향으로 물리적 길이 증가에 따른 패턴 변화를 적용한 결과이다. Tx는 송신 패턴을 의미하며, Rx 1~6은 각 부관측폭에 대한 수신 빔 패턴을 의미한다.

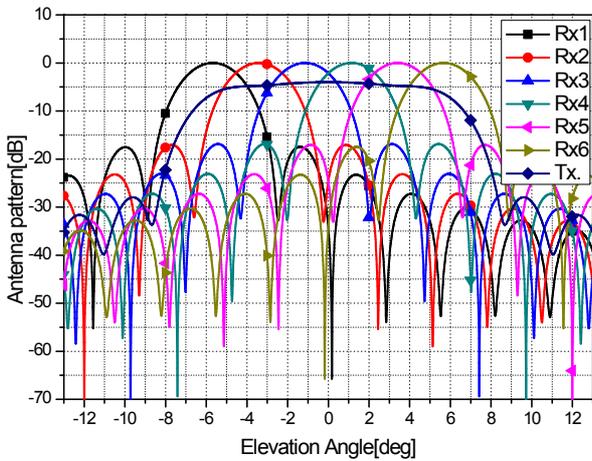


그림 4. C-band 거리방향 안테나 방사패턴
Fig. 4. Radiation pattern in range direction at C-band.

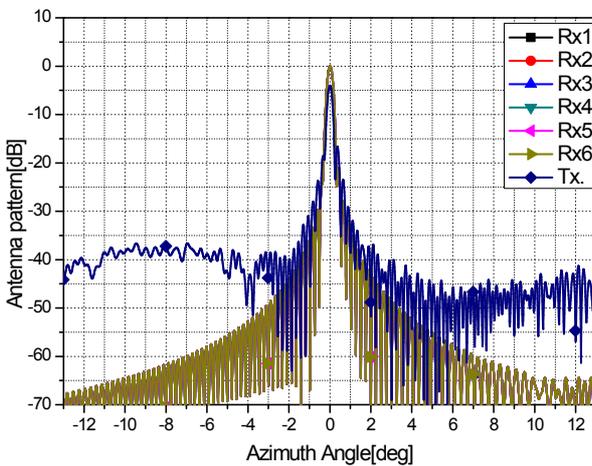


그림 5. C-band 방위방향 안테나 방사패턴
Fig. 5. Radiation pattern in azimuth direction at C-band.

III. SweepSAR 모드 시스템 성능 분석

3-1 계산 과정 검증

현재까지 SweepSAR 모드를 활용한 위성의 운용사례는 없으며, NASA(미국항공우주국)와 DLR(독일항공우주국)에서 디지털 빔 포밍을 기반으로 하는 SweepSAR 시스템을 연구 중이다. 본 절에서는 본 논문에서 활용한 계산 과정을 DLR에서 발표한 자료^[14]에 적용하여 모호성 성능 분석 결과를 검증하였다. DLR 자료의 송신 패턴은 보간

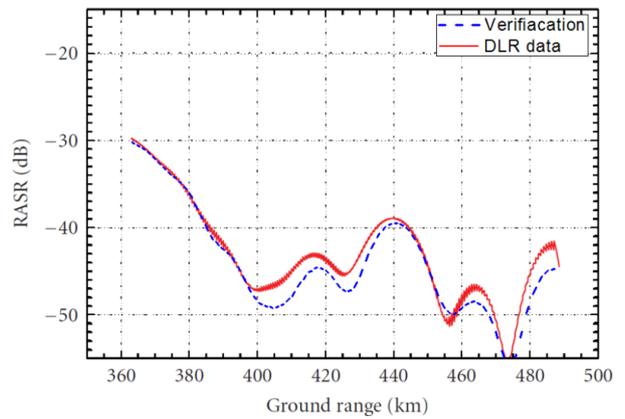


그림 6. 거리방향 모호성비 계산결과 검증
Fig. 6. Simulated data verification of RASR.

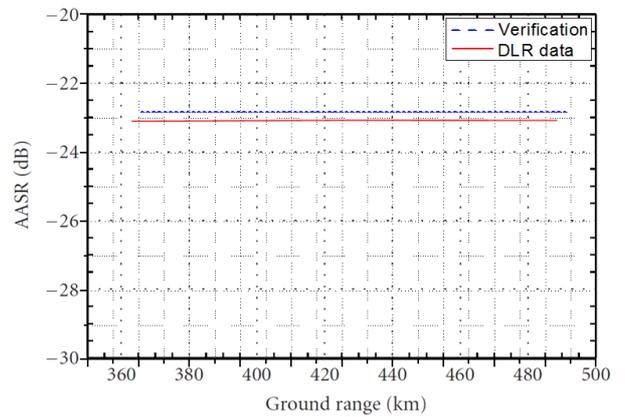


그림 7. 방위방향 모호성비 계산결과 검증
Fig. 7. Simulated data verification of AASR.

법을 활용하여 구현, 적용하였으며, 수신패턴은 디지털 빔포밍에 의해 일정한 값으로 수신된다고 가정하고 계산하였다. 그림 6, 7로부터 전체 관측 폭에 대하여 DLR의 발표 자료와 본 연구의 계산 결과가 일치함을 확인하였다.

3-2 모드에 따른 시스템 성능 비교 분석

3-2-1 C-대역 SweepSAR 성능

ScanSAR 모드의 성능 계산은 방위방향 3 m 길이에 대한 방사패턴을 적용하고, 6개의 Sub-swath에 대한 PRF는 6~7.5 kHz에서 블라인드 영역을 피해서 선정하였다.

SweepSAR는 방위방향 13.5 m 길이에 대한 방사패턴을 적용하였다.

ScanSAR 모드는 부 관측폭 수에 반비례하여 관측시간이 감소하므로 C-대역 방위방향 해상도는 부 관측폭 수에 비례하여 대략 9 m, SweepSAR 모드는 방위방향에 대해서 전체 대역폭을 활용한다고 가정하였을 때, 대략 6.7 m이다^[15]. SweepSAR 모드로 운용 시, 2 m 이상의 방위방향 해상도가 향상되며, 두 모드에 대한 원신호의 주요

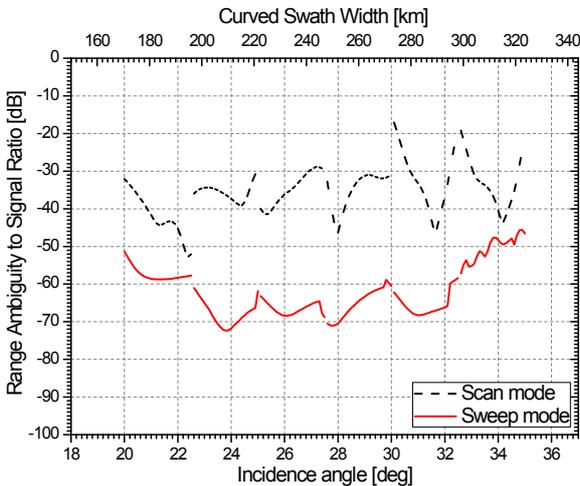


그림 8. C-band 거리방향 모호성 비 성능
Fig. 8. Range ambiguity to signal ratio at C-band.

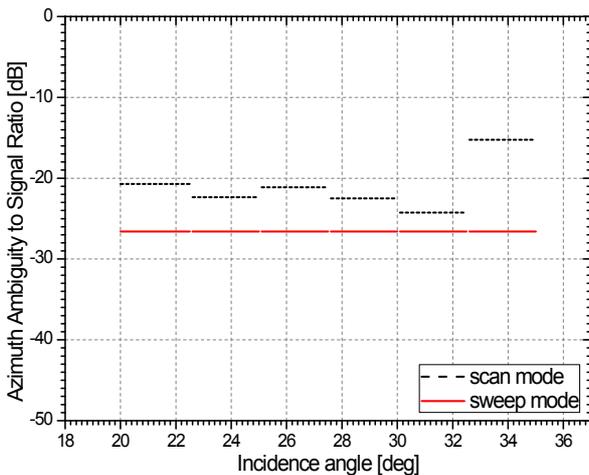


그림 9. C-band 방위방향 모호성 비 성능
Fig. 9. Azimuth ambiguity to signal ratio at C-band.

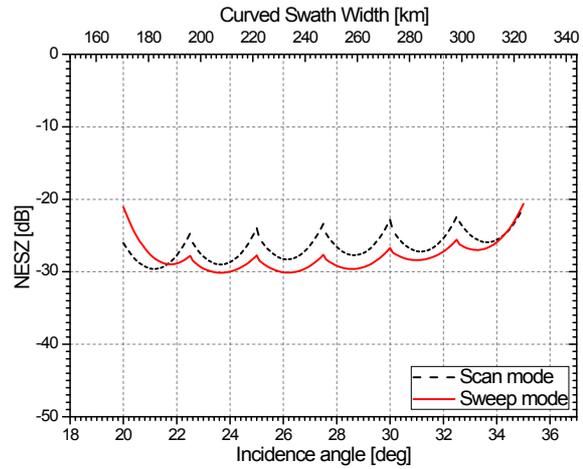


그림 10. C-band NESZ 성능(2.4 kW RF 전력 가정)
Fig. 10. NESZ performance at C-band(assuming RF power is 2.4 kW).

성능 비교는 그림 8~10과 같다. ScanSAR 모드일 때, 원거리(far range)에 대해서 방위방향 모호성비가 -20 dB를 만족하지 못하는 것을 확인할 수 있다. 전체 관측 폭에서 전반적으로 SweepSAR 모드의 모호성비 성능이 우수하며, NESZ 또한 더 낮은 레벨의 결과를 가졌다.

3-2-2 X-대역 SweepSAR 성능

X-대역 ScanSAR 모드에서는 8개의 Sub-swath를 활용하며, 7.5-8.3 kHz의 PRF를 활용하였다. ScanSAR 모드,

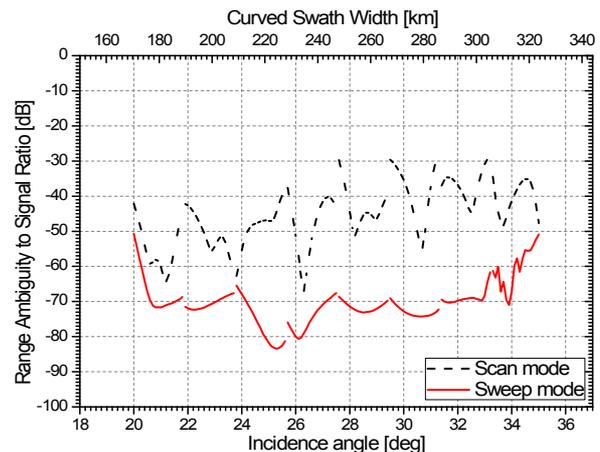


그림 11. X-band 거리방향 모호성 비 성능
Fig. 11. Range ambiguity to signal ratio at X-band.

SweepSAR 모드의 방위방향 해상도는 각각 12 m, 6.7 m 로 예상할 수 있다. 그림 11~13은 X-대역에서 두 모드에 대한 시스템 성능을 비교한 것이다. X-대역 SweepSAR 모드의 방위방향 모호성비는 전체 관측 폭에 대하여 -20 dB보다 높은 값을 보였다. 이는 파장이 더 짧아져 안테나 빔 폭이 좁아진 정도에 비해 조준각 신호로부터 방위 방향 모호성이 발생하는 위치까지의 차이가 더 좁아지고, 모호신호의 도플러 대역폭 내 레벨이 더 높기 때문이다.

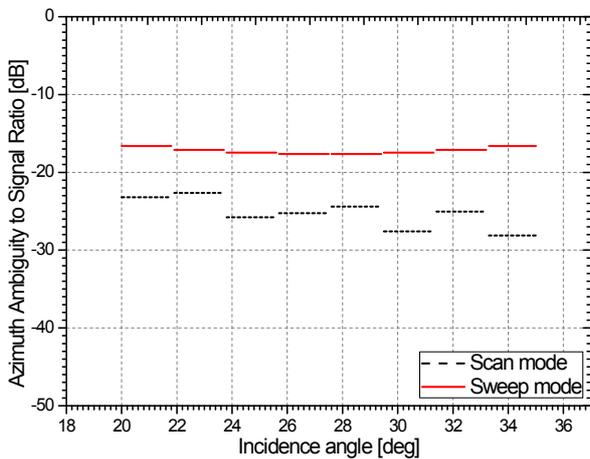


그림 12. X-band 방위방향 모호성 비 성능
Fig. 12. Azimuth ambiguity to signal ratio at X-band.

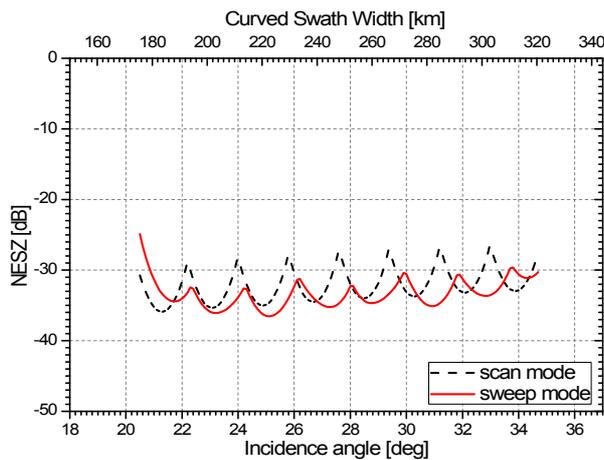


그림 13. X-band NESZ 성능(2.4 kW RF 전력 가정)
Fig. 13. NESZ performance at X-band(assuming RF power is 2.4 kW).

IV. 결 론

본 논문에서는 고해상도 광역관측을 위한 SweepSAR 모드의 동작원리를 분석하고 적절한 송·수신 안테나의 시뮬레이션 결과를 활용하여 시스템 성능을 계산하였다. 기존의 광역 관측 모드인 ScanSAR 모드와 비교 분석한 결과, C-대역에서는 해상도, 모호성비, NESZ에서 모두 우수한 성능을 보였으나, X-대역에서는 방위방향 모호성 비 성능이 ScanSAR 모드에 못 미치는 결과를 확인하였다. 이로부터 고해상도 광역 관측을 위한 SweepSAR 모드는 100 km 이상의 관측을 위해서 방위방향의 안테나 길이 증가가 요구되며, C-대역 이하의 동작 주파수에서 활용이 유리할 것을 예상할 수 있다.

사 사

이 연구(논문)은 한국항공우주연구원 주요 사업(차세대 영상레이더의 탑재체 핵심기술개발 사업)의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 광영길, "위성 영상 레이더(SAR) 기술 동향", 한국전자 과학회논문지, 22(6), pp. 4-16, 2011년 11월.
- [2] Varsha Thukar, Rinki Deo, Y. S. Rao, Member, IEEE, Shiv Mohan, and Anup Das, "Classification accuracy of multi-frequency and multi-polarization SAR images for various land covers", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 5, no. 3, pp. 936-941, Jun. 2012.
- [3] Parthasarathy Ramanujam, Philip H. Law, and Steven O. Lane, "Multi-beam reflector antenna system with a simple beamforming network", US Patent, US006366256B1, Apr. 2002.
- [4] A. Currie, M. A. Brown, "Wide-swath SAR", *Proc. IEE*, vol. 139, no. 2, pp. 122-135, Apr. 1992.
- [5] Ian G. Cumming, Frank H. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data*, Artech House, 2005.
- [6] D. D'Aria, F. De Zan, D. Giudici, A. Monti Guarnieri,

- and F. Rocca, "Burst-mode SARs for wide-swath surveys", *Can. J. Remote Sensing*, vol. 33, no. 1, pp. 27-38, Feb. 2007.
- [7] Gerhard Krieger, Nicolas Gebert, and Alberto Moreira, IEEE, "Unambiguous SAR signal reconstruction from nonuniform displaced phase center sampling", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 1, no. 4, pp. 260-264, Oct. 2004.
- [8] G. D. Callaghan, I. D. Longstaff, "Wide-swath space-borne SAR using a quad-element array", *IEE Proc.-Radar, Sonar Navig.*, vol. 146, no. 3, pp. 159-165, Jun. 1999.
- [9] 김세영, 성진봉, 이동우, 심상훈, "광역관측을 위한 영상레이더 TOPS 모드 설계 기법", *한국전자과학회 논문지*, 43(5), pp. 466-471, 2015년 5월.
- [10] Francesco De Zan, Andrea Monti Guarnieri, "TOPSAR; Terrain observation by progressive scans", *Proc. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, no. 9, pp. 2352-2360, Sep. 2006.
- [11] A. Freeman, G. Krieger, P. Rosen, M. Younis, W. T. K. Johnson, S. Huber, R. Jordan, and A. Moreira, "SweepSAR: Beam-forming on receive using a reflector-phased array feed combination for spaceborne SAR", *IEEE*, 2009.
- [12] Seong Sik Yoon, Jae Wook Lee, Taek Kyung Lee, and Dong Woo Yi, "Parameter selection procedure of parabolic reflector antenna for the optimum synthetic aperture radar performances", *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 13, no. 4, pp. 251-258, Dec. 2013.
- [13] S. Y. Kim, N. H. Myung, and M. J. Kang, "Antenna mask design for SAR performance of fixed-baseline interferometric SAR", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 4, no. 1, pp. 65-69, Jan. 2007.
- [14] Marwan Younis, Sigurd Huber, Anton Patyuchenko, Federica Bordoni, and Gerhard Krieger, "Performance comparison of reflector- and planar-antenna based digital beam-forming SAR", *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2009, Article ID 614931, pp. 1-13, Mar. 2009.
- [15] D. D'Aria, F. De Zan, D. Giudici, A. Monti Guarnieri, and F. Rocca, "Burst-mode SARs for wide-swath surveys", *Can. J. Remote Sensing*, vol. 33, no. 1, pp. 27-38, 2007.

윤 성 식



2010년: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 2013년: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
 2013년~현재: 한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 위성 통신/레이더 안테나, 위성 SAR 시스템, 초고주파 수동 소자 해석 및 설계

이 재 욱



1992년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1998년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1998년~2004년: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 전파기반연구그룹
 2004년~현재: 한국항공대학교 항공전자정보공학부 교수
 [주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 능, 수동 소자 해석 및 설계, EMI/EMC 대책 기술, 고출력 증폭기 및 고출력 안테나 설계, 위성 통신 안테나, 전자장 수치 해석

이택경



1983년: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1990년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1990년~1991년: University of Texas at Austin, Post-Doctoral Fellow

1991년~1992년: 한국과학기술원 정보전자연구소 연구원
 2001년~2002년: University of Illinois, Urbana-Champaign, 방문교수
 2014년: 한국전자과학회 회장
 1992년~현재: 한국항공대학교 항공전자정보공학부 교수
 [주 관심분야] 마이크로파, 안테나, 전자파 해석, 레이더

강은수



2006년: 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2008년: 경북대학교 전자전기 컴퓨터공학과 (공학석사)
 2012년: 경북대학교 전자전기 컴퓨터공학과 (공학박사)
 2012년~현재: 한국항공우주연구원 선임

연구원
 [주 관심분야] 위성통신, OFDM 시스템, 차세대 방송시스템

유상범



1996년: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)
 2001년: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2010년: 충북대학교 전자공학과 (공학박사)
 2011년~현재: 한국항공우주연구원 선임연구원

[주 관심분야] 지구관측위성, 마이크로파원격탐사, 위성통신 시스템, 원격측정 명령계

이상규



1993년: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 1995년: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
 2011년: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
 1995년~현재: 한국항공우주연구원 위성연구본부 탑재체전자팀 팀장, 책임연구원

[주 관심분야] 영상코딩, 안테나 및 전자파전파, EESS 통신시스템, 위성통신

이현철



1989년~1997년: 국방과학연구소, 정찰용 무인기개발실
 1997년~2001년: Texas A & M University 전기공학과 (공학박사)
 2002년~2003년: Texas A & M University 전산학과 Post-Doctorate
 2003년~현재: 한국항공우주연구원 책임

연구원
 [주 관심분야] 영상레이더 신호처리, 위성통신