

영상레이더 잔상 제거를 위한 펄스 반복 주파수의 범위 설계

김 경 록*, 허 민 옥*, 김 두 환*, 유 상 범**, 이 상 규**, 이 현 철**, 김 재 현^o

Range Design of Pulse Repetition Frequency for Removal of SAR Residual Image

Kyeong-Rok Kim*, Min-Wook Heo*, Tu-Hwan Kim*, Sang-Burm Ryu**, Sang-Gyu Lee**, Hyeon-Cheol Lee**, Jae-Hyun Kim^o

요 약

영상레이더는 이동하는 플랫폼에 탑재되어 운용되며, 이동 중에 전자파를 송수신하고 획득한 데이터를 영상 처리하여 관측 지역의 영상을 획득하는 전천후 레이더이다. 또한 전자파의 투과성에 의해 영상레이더의 송수신 신호는 대기 및 지표 투과가 가능하며, 기상조건에 관계없이 전천후로 영상 획득이 가능한 이점이 있다. 그러나 영상레이더는 이동하며 전자파를 송수신하기 때문에 사용하는 펄스 반복 주파수에 따라 잔상 왜곡 및 고스트 이미지 등의 영상 왜곡이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 영상 왜곡의 방지를 위해 지구 관측을 목적으로 하는 L밴드 대역 위성용 영상레이더에서 사용되는 펄스 반복 주파수의 범위 설계를 연구하며, 제안하는 시스템 설계 절차에 따라 시스템 변수 및 펄스 반복 주파수를 도출한다. 또한 MATLAB 기반의 영상레이더 관측 시뮬레이터를 이용하여 사용되는 펄스 반복 주파수에 따라 발생하는 잔상 왜곡 및 고스트 이미지와 제거된 이미지를 확인하였고 관측한 점 목표물의 임펄스 응답 분석으로 최종 도출된 펄스 반복 주파수의 적합성을 검증하였다.

Key Words : SAR, parameter design, PRF, SAR residual image, PSLR

ABSTRACT

The synthetic aperture radar (SAR) is an active sensor using microwaves. It transmits a microwave signal, called a chirp pulse, and receives the reflected signal in a moving platform such as satellite and unmanned aerial vehicle. Since this sensor uses microwaves that can penetrate the atmosphere, SAR generates the images regardless of light and weather conditions. However SAR operates on the moving platform, the Doppler shift and the side-looking observation method should be considered. In addition, a residual image or ghost image can be occurred according to selection of the pulse repetition frequency (PRF). In this paper, a range design of the PRF for the L-band spaceborne SAR system is studied for prevention of SAR image distortion. And the system is studied for prevention of SAR image distortion. And the system parameter and the PRF are calibrated iteratively according to the proposed system design procedure and design constraints. The MATLAB based on SAR system

* 본 연구는 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국항공우주연구원(KARI)의 지원을 받아 수행되었습니다.

• First Author : Ajou University Department of Electrical and Computer Engineering, nowhere1104@ajou.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : Ajou University Department of Electrical and Computer Engineering, jkim@ajou.ac.kr, 중신회원

* Ajou University Space Electronics and Information Engineering, gjalsdnr8910@ajou.ac.kr, 학생회원, thkim@ajou.ac.kr, 정회원

** Korea Aerospace Research Institute, sbryu11@kari.re.kr, sglee@kari.re.kr, hlee@kari.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2016-09-236, Received September 2, 2016; Revised October 6, 2016; Accepted October 6, 2016

simulator has been developed to verify the validity of calculated PRF. The developed simulator assumes that SAR sensor is operated by the PRF calculated from the design. The results of the simulator show that the targets in image has a valid peak to side-lobe ratio (PSLR) so that the PRF can be used for the spaceborne SAR sensor.

I. 서론

영상레이더는(synthetic aperture radar, SAR)는 위성이나 무인기 등 이동하는 플랫폼에 탑재되어 운용되며, 칩 펄스 형태의 전자파를 송수신하고 영상처리함으로써 대상 지역의 영상을 형성한다^[1]. 영상레이더 시스템은 그림 1과 같은 형태로 운용되며, 방위 방향(azimuth direction)에 수직인 거리 방향(range direction) 관측을 한다. 영상레이더는 전자파의 왕복 시간을 분석하여 대상과의 거리를 측정하기 때문에 수직 아래(nadir)를 기준으로 관측 각도(look angle)를 갖는 측면 관측을 진행한다. 또한 넓은 빔 폭으로 광역 관측한 데이터를 처리하여 고해상도의 영상을 획득할 수 있다. 영상레이더의 송수신 신호는 전자파의 투과성에 의해 대기 및 지표 투과가 가능하며 날씨와 기상조건에 관계없이 영상 획득이 가능한 이점이 있다. 이러한 이점으로 인해 영상레이더는 적진 감시 등의 국방 용도와 자연재해 감시, 자원 탐사 등 다양한 영역에서 연구가 진행되며 그 활용 범위가 늘어나고 있다. 그러나 영상레이더는 플랫폼의 이동속도와 안테나의 빔 폭에 따라, 수신되는 칩 펄스 신호에 간섭이 발생될 수 있고 이는 관측 영상에 왜곡을 일으키게 된다^[2]. 본 논문에서는 시스템 설계 변수 값에 따라 발생할 수 있는 영상 왜곡을 방지하기 위해 시스템 설계 절차를 제안하며, 제안하는 절차에 따라 시스템 변수 및 펄스 반복 주파수를 도출한다. 또한 diamond 다이어그램 및 MATLAB 기반의 영상레이더 관측 시뮬레이션을 진행하여 펄스 반복 주파수 값에 따른 영상 왜곡을 확인하고, 절차에 따라 도출된 펄스 반복 주파수 값을 사용하였을 때의 영상을 확인하였다. 마지막으로 출력 영상에 임펄스 응답 분석인 peak to side-lobe ratio (PSLR) 분석을 진행하여 도출된 변수가 사용하기 적합함을 확인한다. 기존 연구에서는 펄스 반복 주파수 비교군이 부족하였으며, 방위 방향의 임펄스 응답 분석만 진행되었으나^[3] 본 논문에서는 다양한 조건의 펄스 반복 주파수를 이용한 영상과 방위 방향 및 거리 방향의 임펄스 응답 분석 결과를 확인하였다. 그 결과, 제안하는 설계 방법을 이용하여 도출한 펄스 반복 주파수를 사용하였을 때 가장 이상적인 관측 영상

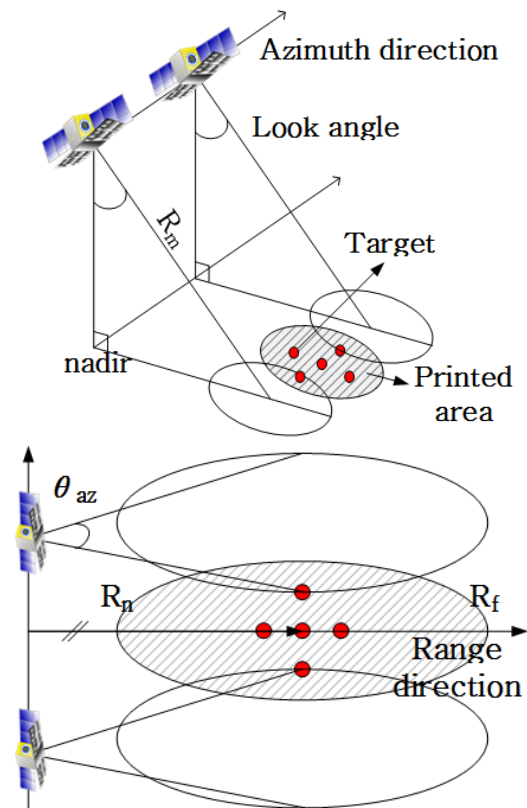


그림 1. 영상레이더 시스템의 관측 상황
Fig. 1. Observation situation of SAR system

과 PSLR 값을 확인하였다. 본 연구의 결과를 활용하여 향후 영상레이더 지상 검증 모델에 활용 가능하며, 무인기용 영상레이더 및 위성용 영상레이더 기초 연구에 활용될 것이라 기대한다.

II. 펄스 반복 주파수 설계

영상레이더 시스템 설계는 사용자 요구사항 (Requirement of customer) 분석, 영상레이더 운용 콘셉트(SAR operational concept) 설정, 영상레이더 시스템 설계(SAR system design) 순서로 진행되며 그림 2는 영상레이더 시스템 설계 흐름을 나타낸다^[4]. 먼저

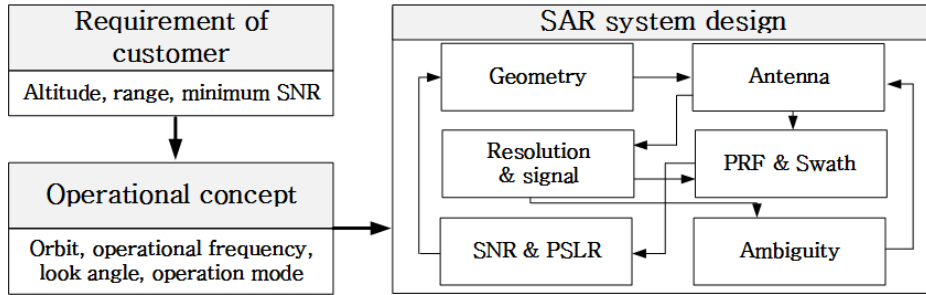


그림 2. 영상레이더 시스템 설계 흐름
Fig. 2. Flow of SAR system design

사용자 요구사항에는 플랫폼의 고도, 영상레이더의 관측 범위, 분해능이 있으며, 이를 바탕으로 영상레이더의 설계 목표를 설정한다. 설계 목표는 관측을 원하는 대상과의 거리, 대상의 반사도, 최소 요구 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio, SNR)로 구성된다. 다음으로 영상레이더의 운용 콘셉트에 해당하는 위성 운용 궤도, 운용 주파수, 관측 각도, 관측 모드를 결정하고 시스템 설계 단계로 진행한다. 시스템 설계 단계는 앞서 결정된 사항들을 기반으로 영상레이더의 시스템 변수를 도출하는 과정이다. 본 논문에서는 위성용 영상레이더를 목표 플랫폼으로 설정하였기에 위성 기하학 변수를 고려하였고 안테나, 분해능, 신호, 펄스 반복 주파수, 관측 폭, SNR, PSLR, 모호성 변수를 큰 틀로 하여 각각의 세부 변수들을 분류하여 표 1에 나타내었다. 표 1은 그림 2의 시스템 설계 흐름을 따르며, 변수 값이 변경될 경우 다른 변수 값에 영향을 주므로 반복 계산을 통해 요구사항 및 조건을 만족하도록 최종 변수를 도출한다.

2.1 펄스 반복 주파수 범위 설계

영상레이더는 사용자 요구사항 및 목적에 따라 펄스 신호 또는 주파수 변조 연속파를 채택하여 사용하

며^[5,6], 본 논문에서는 펄스 신호를 사용하는 영상레이더의 펄스 반복 주파수 가용 범위를 연구한다. 펄스 반복 주파수는 영상레이더 시스템에서 이용하는 핵심 변수로, 펄스 신호를 얼마나 반복해서 송신하는지를 의미한다. 펄스 신호는 주기적으로 송수신되며, 단일 레이더를 사용하는 영상레이더에서는 송수신이 동시에 이루어질 수 없기 때문에 주기의 제한을 갖는다^[7,8]. 본 논문에서는 펄스 반복 주파수의 범위 설계를 수식을 이용하여 도출하는 방법과 diamond 다이어그램 시뮬레이션을 이용하여 선택하는 두 가지 방법을 모두 고려하였다.

$$PRF_{min} = \frac{2 v_p \sin(\theta_{az}) f_c}{c} \tag{1}$$

식 (1)은 최소 펄스 반복 주파수 설계 수식으로, v_p 는 플랫폼 속도, θ_{az} 는 플랫폼 진행 방향의 빔 폭, f_c 는 운용 주파수, c 는 빛의 속도를 의미한다. 최소 펄스 반복 주파수는 그림 1과 식(1)에 의하여 플랫폼의 진행 속도와 진행 방향 빔 폭의 영향을 받는다. 따라서 영상레이더 운용에 선택되는 펄스 반복 주파수 값이 최소 펄스 반복 주파수 값보다 작을 경우에는 플랫폼

표 1. 영상레이더 시스템 설계 주요 변수 및 단위
Table 1. Key parameters and units of SAR system table

Geometry	Altitude	Look angle	Target distance	Platform velocity
	km	°	km	km/s
Antenna	Size	Efficiency	Beamwidth	Gain
	m (W, L)	%	° (elevation, azimuth)	dB
Resolution & signal	Range resolution	Azimuth resolution	Bandwidth	Pulse width
	m	m	MHz	µs
PRF & swath	PRF _{min}	PRF _{max}	Operational PRF	Swath width
	Hz	Hz	Hz	km
SNR & PSLR	σ ₀	System loss	Antenna area	Power
	m ²	dB	m ²	Watt
Ambiguity	Range ambiguity		Azimuth ambiguity	

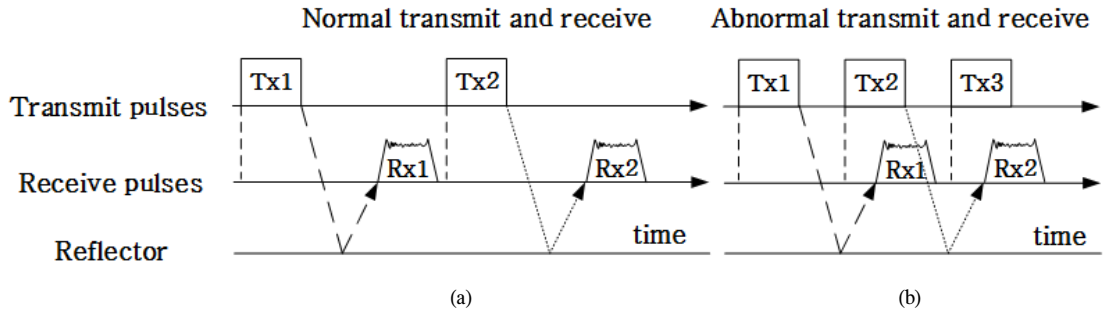


그림 3. 좁은 펄스 간격으로 인해 발생하는 거리 방향 모호성
 Fig. 3. Range ambiguity caused by short pulse interval

이 이동하며 신호를 송수신할 때 방위 방향의 side-lobe가 main-lobe에 유입되어 영상에 왜곡이 발생한다⁹⁾. 또한 신호의 샘플링 데이터가 부족하여 관측 대상의 속도 측정이 불가능 할 수 있다.

$$PRF_{max} = \frac{1}{2\tau_p + 2(R_f - R_n)/c} \quad (2)$$

$$R_{max} = \frac{c}{2PRF} \quad (3)$$

식(2)는 최대 펄스 반복 주파수 도출을 위한 수식으로, τ_p 는 펄스폭, R_f 와 R_n 은 각각 영상레이더에서 관측 지역에 빔을 방사할 때 지표까지의 최장 거리와 최단 거리를 나타낸다. 최대 펄스 반복 주파수는 그림 1과 식(2)에 의해 관측 지역 내에서 빔이 왕복하는 시간에 영향을 받고, 왕복 거리와 관계있기 때문에 거리가 가까워질수록 사용가능한 범위는 커지게 된다. 또한 높은 펄스 반복 주파수를 사용하게 되면 충분한 샘플링 데이터를 이용하여 더 빠른 속도의 물체 감지 및 추적이 가능한 이점이 있으나, 식 (3)에 의해 최대 관측 범위가 줄어들고 거리 방향 모호성이 발생할 수 있다. 일반적인 펄스 신호의 송신과 수신은 그림 3(a)와 같이 한 쌍씩 순차적으로 이루어진다. 그러나 최대 펄스 반복 주파수 이상의 값이 선택된 경우에는 그림 3(b)의 송신 펄스인 Tx1, Tx2와 수신 펄스인 Rx1의 관계와 같이 신호에 충돌이 일어난다. 또한 송수신 펄스의 순서가 혼합되어 관측 대상의 거리를 관측할 수 없는 경우가 발생되기도 한다. 본 논문에서는 목표 플랫폼을 지구 관측을 목적으로 하는 L밴드 대역, 저고도 위성(600 km)으로 설정하여 범위를 도출하였으며 최소, 최대 펄스 반복 주파수는 각각 2660 Hz, 16666 Hz이다.

2.2 Diamond 다이어그램을 이용한 펄스 반복 주파수 선정

단일 안테나를 사용하여 신호를 송수신하는 경우에는 송수신 구간이 분리되어야 하므로 펄스 반복 주파수의 간격을 적절히 설정하여 송수신 구간을 구분해야 한다. Diamond 다이어그램은 안테나에서 대상 지역을 향해 신호를 송수신할 때 수직 아래인 직하방에서 반사되는 nadir return, 관측 대상에서 반사되어 돌아오는 수신 신호 타이밍 등의 제약사항을 분석하여 사용 가능한 펄스 반복 주파수의 범위를 설계하는 기법이다^{10,11)}.

영상레이더 시스템 설계 변수와 수식을 이용한 펄스 반복 주파수의 범위는 2660 Hz 이상, 16666 Hz 이하에서 선택이 가능하지만, 실제 영상레이더의 운용 환경을 고려하였을 때는 몇 가지 제약사항이 존재한다. Diamond 다이어그램은 플랫폼의 고도, 관측 각도, 관측 폭, 펄스 폭, 샘플링 윈도우 등을 입력하여 이용 가능한 펄스 반복 주파수의 범위를 출력한다. 출력되는 범위는 송신, 수신, 직하방 반사 신호 구간이며 그림 4에 나타났다.

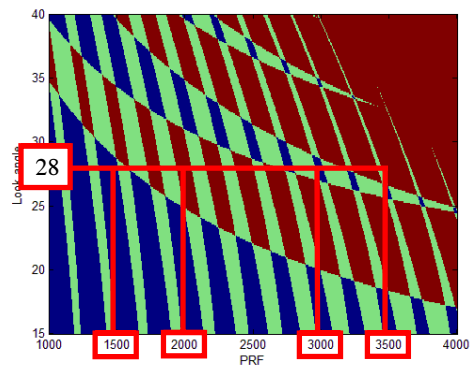


그림 4. Diamond 다이어그램
 Fig. 4. Diamond diagram

그림 4의 X축은 펄스 반복 주파수, Y축은 관측 각도를 나타내며, 파란 부분은 송신 신호, 녹색 부분은 수신 신호, 빨간 부분은 nadir return 구간을 나타낸다. 펄스 반복 주파수는 송신 신호 부분에서 선택하며, 수신 신호 또는 nadir return 구간을 선택할 경우 영상 왜곡이 발생하거나 시물레이션에 에러가 발생하고 이를 4가지 경우의 시물레이션을 통해 검증하였다. 먼저 선택한 펄스 반복 주파수는 송신 구간이지만 최소 범위 이하인 1500 Hz, 다음으로는 최소 범위이며 nadir return 구간과 충돌하는 2000 Hz, 세 번째는 송신 구간을 만족하며 유효한 펄스 반복 주파수 범위인 3000 Hz, 마지막으로 송신 구간이지만 충돌 구간인 3500 Hz이다.

III. 관측 시물레이션 및 분석

영상레이더 관측 시물레이션은 플랫폼에 탑재된 영상레이더가 운용 중에 대상 지역을 관측하고 영상을 형성하는 과정을 가정한 실험이다. 먼저 관측 지역 내에 점 목표물을 배치하고, 관측을 진행하며 송신 신호와 반사된 신호를 신호 처리하여 관측 지역의 데이터를 획득 한다. 다음으로 영상 처리 알고리즘을 적용하여 최종 관측 영상을 획득하는 과정으로 펄스 반복 주파수를 수정하며 4회 진행되었으며 결과를 그림 5에 나타냈다. 그림 5(a), 5(b), 5(c), 5(d)는 각각 펄스 반복 주파수 1500 Hz, 2000 Hz, 3000Hz, 3500 Hz를 사용한 결과이다.

3.1 펄스 반복 주파수 값에 따른 관측 영상 비교

본 논문에서는 그림 4를 근거로 하여 1500 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz의 펄스 반복 주파수를 선택하여 시물레이션을 진행하였다. 그림 5(a)는 펄스 반복 주파수 1500 Hz에서 진행되었으며 그림 4에서 송신 구간을 만족하지만 식(1)의 최소 범위 이하 값을 선택하였기 때문에 관측된 점 목표물에 왜곡이 발생

하였다. 또한 그림 5(b)는 2000 Hz를 선택하여 진행한 결과로, diamond 다이어그램에서 nadir return 구간과 충돌하며, 식 (1)의 최소 범위보다 작은 값을 선택하였기 때문에 온전하게 관측되지 않은 것을 확인할 수 있다. 그림 5(c)는 diamond 다이어그램에서 송신 구간을 만족하며, 식 (1)과 (2)의 펄스 반복 주파수 범위를 만족하는 3000 Hz를 선택하여 시물레이션 한 결과로 정상적인 영상이 출력된 것을 확인하였다. 마지막으로 그림 5(d)는 식 (1)과 (2)는 만족하지만 그림 4에서 충돌 구간을 선택했기 때문에 관측이 제대로 진행되지 않았다.

3.2 펄스 반복 주파수 값에 따른 품질 분석

1절에서 4가지 펄스 반복 주파수를 선택하여 시물레이션을 진행하였고, 2절에서는 각 영상의 품질을 비교하고 분석한다. 영상 품질을 비교 및 분석하기 위해 관측된 점 목표물에 방위 및 진행 방향의 임펄스 응답 분석을 진행하였다. 일반적으로 영상레이더 관측 영상의 품질 분석은 점 목표물을 이용한 임펄스 응답 분석, 실제 영상레이더 영상을 이용한 해상도, 정확도 등을 분석하는 통계특성 분석이 있다^[12]. 본 논문에서는 임펄스 응답 분석 중 점 목표물의 중심 값과 주변 값의 반사된 정도를 비교하는 peak to side-lobe ratio (PSLR) 분석을 그림 6에 나타내었다. PSLR은 절댓값이 클수록 중심 부분이 선명함을 나타내며, 일반적으로 -13 dB 이하의 값을 요구한다^[13]. 그림 6(a)와 그림 6(b)는 PSLR 기준은 만족하지만 관측이 제대로 진행되지 않아 점 목표물에 왜곡이 발생하였고, 그림 6(c)는 PSLR 기준을 만족하며 점 목표물도 정상적으로 관측되었다. 그림 6(d)는 관측이 이루어지지 않았기 때문에 PSLR 품질도 좋지 않음을 확인할 수 있다.

그림 5와 그림 6의 결과로, 제안하는 기법을 이용하여 펄스 반복 주파수를 선택하였을 때 좋은 품질의 영상과 기준 이상의 PSLR 획득이 가능함을 확인하였다.

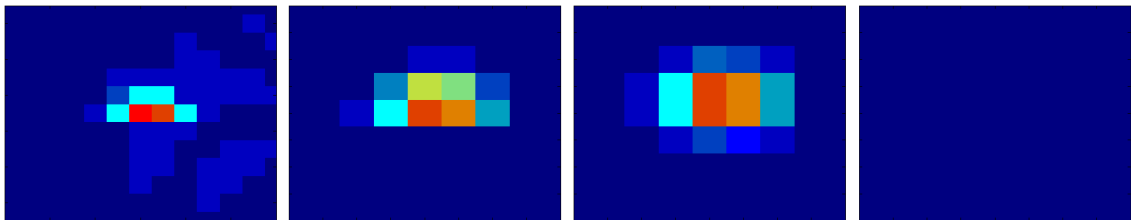


그림 5. 관측된 점 목표물 비교
Fig. 5. Comparison of zoomed images for each PRF

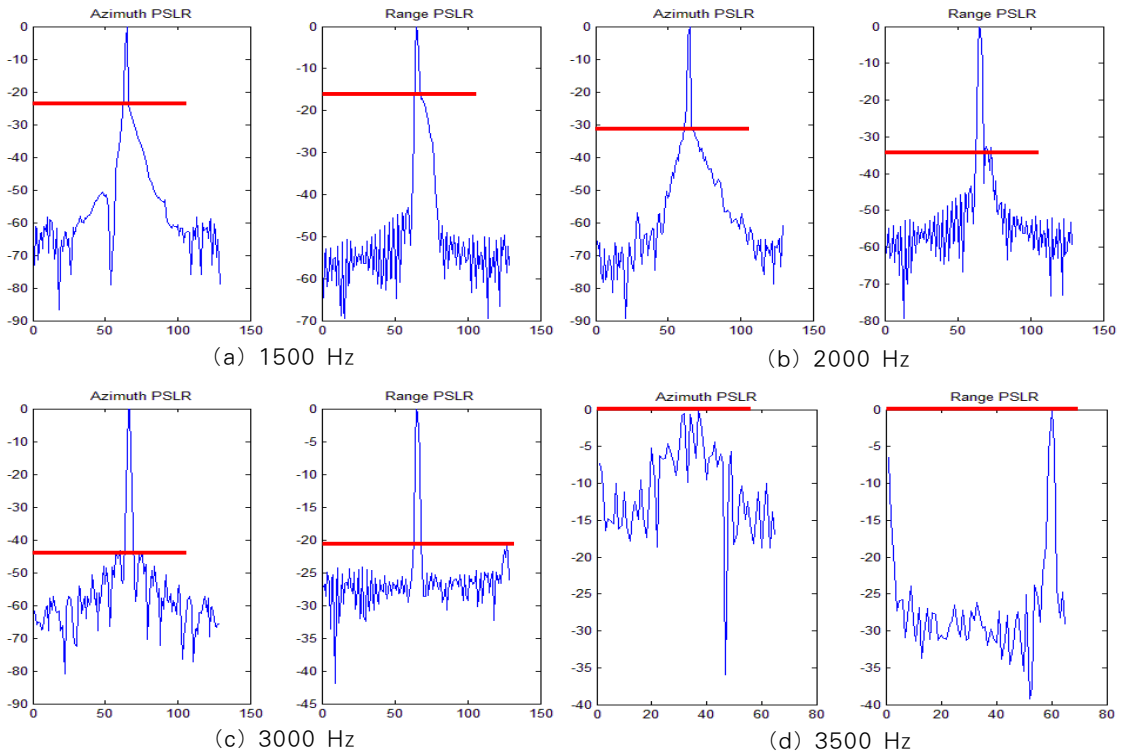


그림 6. 관측된 점 목표물 PSLR 분석 비교
 Fig. 6. Comparison of PSLR analysis

IV. 결 론

본 논문은 영상레이더 관측 영상에서의 왜곡을 최소화하기 위해 설계 단계에서 적절한 펄스 반복 주파수를 도출하는 방안을 연구하였다. 수식과 diamond 다이어그램을 이용하여 펄스 반복 주파수를 도출하였으며, 도출된 값의 적합성을 확인하기 위해 조건을 만족하는 값과 만족하지 않는 값을 이용하여 관측 시물레이션과 PSLR 분석을 진행하였다. 관측 결과, nadir return 신호와 충돌하는 구간의 펄스 반복 주파수를 사용한 경우에는 관측이 거의 이루어지지 않았으며, 송신 구간을 만족하였어도 수식적으로 최소 범위 이하의 펄스 반복 주파수를 사용한 경우에는 영상 품질이 떨어지는 것을 확인하였다. 결과적으로 제안하는 설계 방법을 만족하는 펄스 반복 주파수를 선택하여 영상레이더 관측을 진행했을 때 가장 이상적인 관측 영상과 PSLR 값을 확인되었다.

References

- [1] K. Tomiyasu, "Tutorial review of synthetic-aperture radar (SAR) with applications to imaging of the ocean surface," in *Proc. IEEE*, vol. 66, no. 5, pp. 563-583, 1978.
- [2] A. Moreira, "Suppressing the azimuth ambiguities in synthetic aperture radar images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 31, no. 4, pp. 885-894, Jul. 1993.
- [3] K. R. Kim, et al., "A range design of pulse repetition frequency for removal of SAR residual image," in *Proc. KICS*, pp. 23-24, Jeju Island, Korea, June 2016.
- [4] K. R. Kim, "System design and performance evaluation of synthetic aperture radar for onboard satellite," M. S. Dissertation, Ajou Univ., Suwon, Korea, 2016.
- [5] Y. Heein, et al., "Phase error compensation method using polynomial model for a direct

digital synthesizer based chirp signal generator,” *2015 IEEE IGARSS*, pp. 786-789, 2015.

- [6] H. B. Lee, J. H. Choi, J. H. Lee, Y. H. Kim, Y. J. Kim, and S. C. Kim, “Interference mitigation by high-resolution frequency estimation method for automotive radar systems,” *J. KICS*, vol. 41, no. 2, pp. 254-262, Feb. 2016.
- [7] C. H. Lim, H. J. Kim, and C. J. Kim, “Detection of a radar signal using the periodicity of its autocorrelation function,” *J. KICS*, vol. 41, no. 7, pp. 732-737, July 2016.
- [8] Y. S. Lee, J. S. Kim, E. G. Kim, and J. S. Lim, “Identification algorithm for Up/Down sliding PRIs of unidentified RADAR pulses with enhanced electronic protection,” *J. KICS*, vol. 41, no. 6, pp. 611-619, June 2016.
- [9] A. M. Guarnieri, “Adaptive removal of azimuth ambiguities in SAR images,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 43, no. 3, pp. 625-633, Mar. 2005.
- [10] C. Y. Chang and J. Curlander, “Application of the multiple PRF technique to resolve doppler centroid estimation ambiguity for spaceborne SAR,” *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens.*, vol. 30, no. 5, pp. 941-949, Sep. 1992.
- [11] M. Suess, B. Gramfueller, and R. Zahn, “A novel high resolution, wide swath SAR system,” *IEEE IGARSS’01.*, vol. 3, pp. 1013-1015, July 2001.
- [12] C. H. Jung, T. B. Oh, and Y. K. Kwag, “Simulator for high resolution synthetic aperture radar image formation and image quality analysis,” *J. KIEES*, vol. 18, no. 8, pp. 997-1004, 2007.
- [13] J. Curlander and R. McDonough, *Synthetic Aperture Radar Systems & Signal Processing*, John Wiley & Sons, Inc., 1991.

김 경 록 (Kyeong-Rok Kim)



2012년 8월 : 연세대학교 컴퓨터정보통신공학과 졸업
 2016년 8월 : 아주대학교 우주전자정보공학과 석사
 2016년 9월~현재 : 아주대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> 영상레이더 시스템, 신호 처리

허 민 욱 (Min-Wook Heo)



2015년 2월 : 아주대학교 전자공학과 졸업
 2015년 3월~현재 : 아주대학교 우주전자정보공학과 석사과정
 <관심분야> 영상레이더 신호처리

김 두 환 (Tu-Hwan Kim)



1970년 2월 : 서울대학교 천문기상학과 졸업
 1973년~1979년 : 일본 동경대학교 천체물리학 석/박사 졸업
 1985년~1986년 : 국립천문대 대장
 1986년~1988년 : 천문우주과학

연구소(현 한국천문연구원) 초대 소장
 1990년~1992년 : 한국우주과학회 부회장
 1990년~1994년 : 과학기술정책연구소 우주전문위원
 2000년~2004년 : 국가우주개발전문(위)/위성체소위원회 위원장
 2000년~2011년 : 아주대학교 우주계측정보공학과 주임교수
 2011년~현재 : 아주대학교 우주전자정보공학과 연구교수

<관심분야> 소형위성, 영상레이더, VLBI

유 상 범 (Sang-Burm Ryu)



1996년 2월 : 한밭대학교 공학사 (전자공학)
2001년 2월 : 충북대학교 공학석사 (전자공학)
2010년 8월 충북대학교 공학박사 (전자공학)
2011년 3월~현재 : 한국항공우주

주연구원 위성연구본부 선임연구원

<관심분야> 지구관측위성, 마이크로파원격탐사, 위성통신시스템

이 현 철 (Hyeon-Cheol Lee)



1989년~1997년 : 국방과학연구소, 경찰용무인기개발실
1997년~2001년 : 텍사스 A&M 대학교 전기공학과 박사
2002년~2003년 : 텍사스 A&M 대학교 전산학과 박사 후 과정

2003년~현재 : 한국항공우주연구원 책임연구원

<관심분야> 영상레이더 신호처리, 심우주통신

이 상 규 (Sang-Gyu Lee)



1993년 : 충남대학교 공학사 (전자공학)
1995년 : 충남대학교 공학석사 (영상통신)
2011년 : 충남대학교 공학박사 (위성통신)

1995년 3월~현재 : 한국항공우주

주연구원 위성연구본부 탑재체전자팀 팀장, 책임연구원

<관심분야> 영상코딩, 안테나 및 전자파전파, EESS 통신시스템, 위성통신

김 재 현 (Jae-Hyun Kim)



1987년~1996년 : 한양대학교 전산과 학사 및 석/박사 졸업
1996년~1997년 : 한양대학교 공학기술 연구소 연구원

1997년~1998년 : 미국 UCLA 전지전자과 박사 후 연수

1998년~1998년 : IRI Corp. CA, USA Consultant

1998년~2003년 : Bell Labs, NJ, USA, 연구원

2003년~현재 : 아주대학교 전자공학부 교수

<관심분야> QoS/QoS, 무선 MAC 프로토콜, IEEE 802.11/15, B5G 통신 시스템, 국방 전술네트워크, 위성시스템 등