

DRFM을 이용한 SAR 재밍 알고리즘 개발

Development of a Synthetic Aperture Radar Jamming Algorithm Using Digital Radio Frequency Memory

권순구¹ · 김진우² · 신희섭³ · 유응노⁴

Soon-Koo Kweon¹ · Jin-Woo Kim² · Hee-Sub Shin³ · Eung-Noh You⁴

요 약

본 논문에서는 SAR(synthetic aperture radar) 영상을 기만하기 위해 DRFM(digital radio frequency memory)을 이용하여 허위표적을 생성하는 방법을 제시한다. 먼저 SAR 플랫폼의 속도, PRF(pulse repetition frequency), 경사거리 변수에 의한 거리방향, 방위방향 허위표적 생성방법을 기하학적으로 분석한 다음, 근사화를 통해 직관적이고 간단하게 적용 가능한 SAR 재밍 알고리즘을 개발한다. 개발한 알고리즘은 RDA(range Doppler algorithm) 기법으로 경사거리 별 SAR 영상 모의 를 통해 검증하였다. 그 결과, 방위방향 허위표적은 동일한 시간지연인 경우, 경사거리에 비례하여 표적의 위치가 이동하였고, 거리방향 허위표적은 경사거리와 상관없이 동일한 위치에 표적이 생성되었다.

Abstract

This paper presents an active decoy algorithm using digital radio frequency memory for synthetic aperture radar (SAR) image jamming. First, we analyzed a geometric method for deceptive target generation according to parameters such as SAR velocity, pulse repetition frequency, and slant range. We developed a simple and easy-to-use SAR jamming algorithm using linear approximation. Additionally, we validated the SAR jamming algorithm using a range doppler algorithm with various slant range parameters. As a result, the position of the deceptive target for the azimuth direction was moved in proportion to the slant range, and a deceptive target for the range direction was generated at the same position regardless of the slant range.

Key words: Synthetic Aperture Radar, Jamming, Electronic Countermeasure, Digital Radio Frequency Memory

I. 서 론

합성개구레이다(SAR: synthetic aperture radar)는 1950년도에 개발된 이후, 해양, 농업, 가뭄, 홍수 등 원격탐사에 활용되어져 왔다. 또한 주야간 고해상영상을 획득할 수

있다는 장점으로 인해 군사적 목적으로 매우 유용하게 사용되고 있다^[1]. SAR의 군사적 활용도가 높아지면서 SAR 영상을 교란하거나 기만하는 SAR 재밍(jamming) 또는 ECM(electronic counter measure)에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다^[2].

「이 연구는 2020년도 LIG넥스원 자체 선행연구 연구비의 지원으로 연구되었음.」

(주)LIG 넥스원 위성/SAR개발단.2팀(Airborne SAR R&D Laboratory, LIG Nex1 Co., Ltd, Korea)

1: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0002-8822-5284>), 2: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0002-3776-6697>),

3: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0003-4777-2553>), 4: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0002-2255-6531>)

· Manuscript received June 26, 2020 ; Revised July 30, 2020 ; Accepted October 22, 2020. (ID No. 20200626-053)

· Corresponding Author: Soon-Koo Kweon (e-mail: soonkoo.kweon@gmail.com)

SAR ECM은 크게 두 개의 방식으로 나뉜다. 첫 번째 방식은 고출력/광대역 주파수 잡음 신호를 송신하여 영상을 교란하는 barrage 제밍으로, 비교적 쉽게 설계, 제작이 가능하지만 주파수 필터링, 2채널 안테나를 이용한 ECCM (electronic counter-counter measure) 기법을 이용하여 쉽게 제거가 가능하다^[3]. 두 번째 방식은 SAR 신호를 수신 후 파형 변형, 시간지연으로 허위표적을 생성, SAR를 기만하는 coherent 제밍으로 mW급의 낮은 출력으로도 구현이 가능하고, 쉽게 제거가 불가능하다는 장점이 있다^[4]. 이러한 장점으로 인해 최근에는 제밍영역 확장, 계산효율 증가, 시간지연 정확도 향상을 통한 초점 및 전파 정확도 향상 등 coherent 제밍기법에 대한 많은 연구가 수행되고 있다^{[1]~[5]}. 특히 위성 SAR의 경우, 매우 높은 PRF(pulse repetition frequency)로 파형을 송신하므로 SAR제머는 빠른 연산을 통한 즉각적인 대응이 매우 중요하다^[5].

본 논문에서는 보다 빠른 연산을 위해 SAR플랫폼의 속도, PRF, 경사거리 변수에 의한 거리방향, 방위방향 허위표적 생성방법을 기하학적으로 분석한 다음 근사화를 통해 계산효율을 극대화하고, 직관적이고 쉽게 적용 가능한 선형 방정식 형태의 알고리즘을 제시한다. 그리고 RDA(range Doppler algorithm) 시뮬레이션으로 다수의 허위표적을 생성하여 알고리즘을 검증한다.

II. SAR 제밍 알고리즘

DRFM(digital radio frequency memory)은 SAR 송신신호를 디지털로 변환 후 메모리에 저장하고, 일정시간 이후 아날로그로 변환하여 재송신한다^[5]. 이러한 DRFM의 기능을 이용하여 허위표적을 생성할 수 있다. 허위표적 생성은 제머의 위치로부터 거리방향으로 뒤쪽으로 생성하는 방법과 방위방향으로 생성하는 방법이 있다. 거리방향(fast-time)으로 이동은 DRFM에서 delay만 조절하면 원하는 위치로 표적을 이동시킬 수 있다. 반면, 방위방향(slow-time)으로 이동은 파형 간 delay를 변화시켜 주어야 한다^[2].

그림 1은 SAR 허위표적 생성 시나리오이다. 그림에서 SAR 센서는 y축 방향으로 SAT(synthetic aperture time)동안 이동하며, SAR제머는 좌표($r, 0$)에 위치해 있다. 이 때 거리방향(x축)으로 허위표적($r+a, 0$)을 생성하기 위한 시

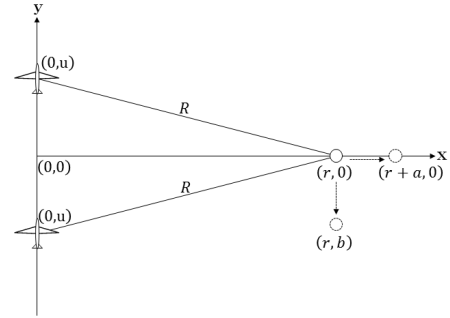


그림 1. SAR 허위표적 생성 시나리오

Fig. 1. SAR jamming scenario.

간지연값에 대한 수식은 식 (1)과 같다. 수식과 같이 거리방향 허위표적은 일정한 시간을 지연시켜줌으로써 표적 위치를 간단히 이동시킬 수 있다.

$$\Delta\tau_1 = \frac{2 \times \Delta x}{c} = \frac{2a}{c} \quad (s) \quad (1)$$

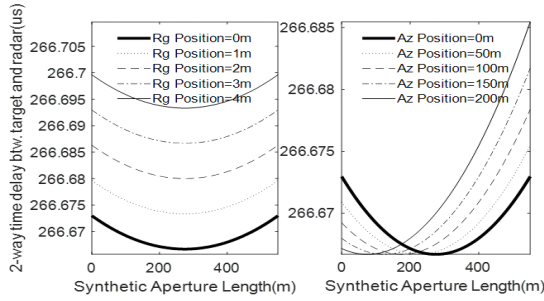
여기서, c : 빛의 속도 (m/s)

방위방향 허위표적 생성은 거리방향과 달리 SAT동안 시간지연을 가변해야 때문에 복잡하다. 식 (2)는 방위방향 시간지연값에 대한 수식으로 비행체 위치(u)와 경사거리가 변수로 추가되었다. 이렇듯 방위방향 표적이동은 SAT동안 비행체의 위치변화(SAL: synthetic aperture length)와 경사거리를 알고 있어야 정확한 계산이 가능하다. 그러나 SAR제머로 SAL과 경사거리 추정은 매우 제한적이다. 수신신호의 PRF와 SAT, 도플러주파수 변화, 시간지연변화 등을 종합하여 추정이 가능하지만 실시간으로 분석이 어렵다. 그러므로 일반적인 SAR센서의 경사거리와 PRF의 범위를 예상하여 다수의 허위표적을 생성하는 것이 효과적이다.

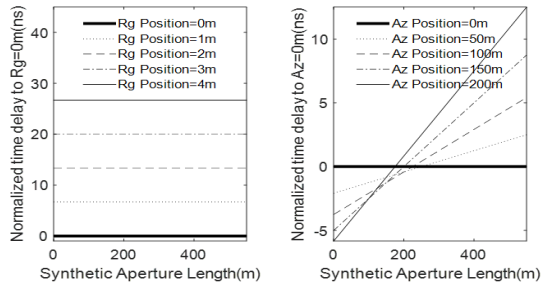
$$\Delta\tau_2 = \frac{2\sqrt{r^2 + (u+b)^2}}{c} - \frac{2\sqrt{r^2 + u^2}}{c} \quad (2)$$

여기서, c : 빛의 속도 (m/s)

그림 2(a)는 경사거리 40 km, 해상도 1 m인 SAR시스템에서 방위방향과 거리방향 표적위치에 따른 SAT동안 SAR와 표적 사이의 시간지연변화를 보여준다. 그림에서 거리방향, 방위방향 0 m는 SAR영상의 중심점을 의미하며, 거리방향으로 0 m, 1 m, 2 m, 3 m, 4 m에 표적이 위치한 경우 시간지연과 방위방향으로 0 m, 50 m, 100 m, 150



(a) SAR와 표적 사이의 시간지연 (좌: 거리방향, 우: 방위방향)
(a) Time delay between target and radar (left: range direction, right: azimuth direction)



(b) 원점 표적 기준으로 정규화한 시간지연 (좌: 거리방향, 우: 방위방향)
(b) Normalized time delay to 0m position target (left: range direction, right: azimuth direction)

그림 2. 표적위치에 따른 시간지연 변화
Fig. 2. Time delay for target shift.

m, 200 m에 표적이 위치한 경우, 시간지연을 보여준다. 그림 2(b)는 표적위치 0 m를 기준으로 각 표적의 시간지연 차를 보여준다. 그림과 같이 거리방향의 경우 SAT에 따른 시간지연변화 없이 표적의 위치에 따라 시간지연값이 증가하는 것을 알 수 있다. 반면에 방위방향의 경우, 방위방향으로 표적의 위치가 증가할수록 SAT변화에 따른 시간지연변화가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 표적위치 0 m를 SAR재머의 위치라고 가정하고, 그림 2(b)의 시간지연값만큼 지연시키면 해당위치에 허위표적을 생성할 수 있게 된다.

그림 2(b)에서 허위표적 위치가 멀어질수록 SAL동안 시간지연변화가 증가하며, 변화량은 선형에 가까우므로 선형함수로 근사화하여 시간지연변화기울기 변수로 표현할 수 있다. 그림 3은 허위표적의 위치와 경사거리에

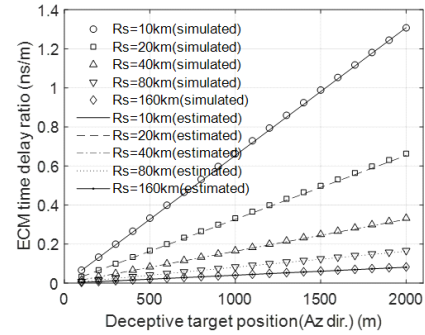


그림 3. 경사거리와 허위표적위치에 따른 SAR재머의 시간지연변화기울기
Fig. 3. Time delay ratio of SAR jammer.

따른 시간지연변화기울기 계산한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 시간지연변화기울기는 허위표적위치에 비례하고 경사거리에 반비례한다.

식 (3)은 시뮬레이션 결과를 토대로 방위방향 허위표적 생성을 위해 SAR재머가 제어해야할 수신펄스 당 시간지연값을 근사식으로 도출한 결과이다. 식에서 알 수 있듯이 방위방향 허위표적 생성을 위한 수신펄스 당 시간지연값은 플랫폼의 속도, 경사거리, PRF에 따라 달라진다.

$$\Delta\tau_2(n) = 6.54 \times 10^{-9} \frac{bv}{rPRF} n \quad (s) \quad (3)$$

여기서, b : 방위방향허위표적거리 (m)

v : 플랫폼의 속 (m/s)

r : 경사거리 (m)

PRF : 초당펄스수 (Hz)

n : 펄스수

III. SAR 허위표적 생성

SAR재머의 개념은 기존에 개발한 DRFM 장치와 동일하다^[5]. 본 논문에서는 RDA 시뮬레이션에 DRFM의 시간지연과 위상제어 기능을 모사하였다. 시간지연 기능은 SAR재머의 샘플링주파수가 40 MHz로 제어하여 거리방향 허위표적을 모사하였고, 방위방향 시간지연을 위상값으로 변환 후 위상제어 기능으로 모사하였다.

그림 4는 허위표적을 시뮬레이션한 결과이다. 경사거리가 10 km, 20 km, 40 km인 영상의 중심에 SAR재머가

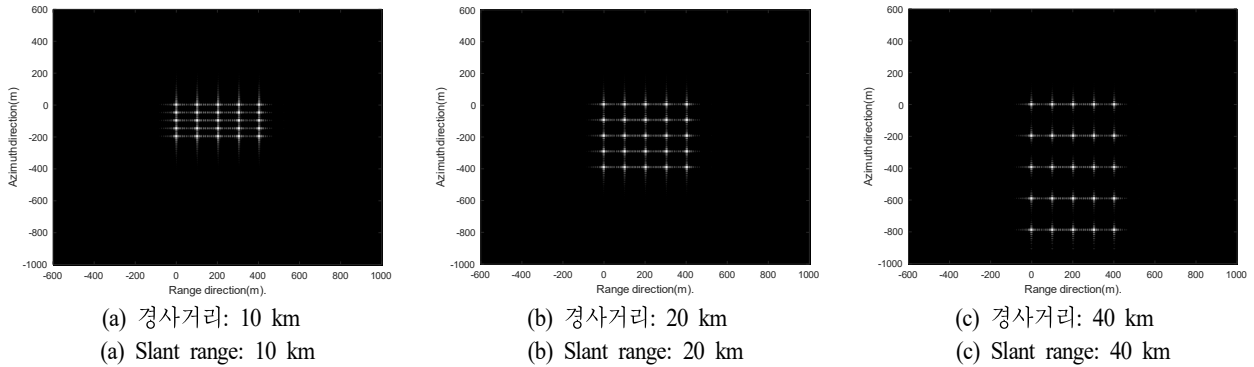


그림 4. 허위표적 모의 결과

Fig. 4. The simulation result of deceptive target.

있다고 가정하고 점표적을 만든 후 해당 점표적에서 식(1)을 이용하여 거리방향 허위표적을 만들고, 식(3)을 이용하여 방위방향 허위표적을 만든다. 식(1)의 a 가 100 m, 200 m, 300 m, 400 m인 허위표적과 식(3)의 r 이 20 km, PRF가 1,000 Hz, v 가 100 m/s일 때 b 가 100 m, 200 m, 300 m, 400 m인 허위표적을 모의한 결과, 원점을 포함한 총 25개의 표적을 모의하였다. 그 결과, 거리방향의 허위표적은 경사거리와 상관없이 100 m 간격으로 허위표적이 생성되었고, 방위방향은 경사거리에 따라 10 km에서는 50 m 간격, 20 km에서는 100 m 간격, 40 km에서는 200 m 간격으로 허위표적의 생성되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 DRFM을 이용하여 SAR 영상에서 허위표적을 생성하는 방법에 대해 연구하였다. SAR와 표적의 관계를 기하학적으로 분석하고 근사화하여 빠른 연산이 가능하며, 직관적이고 쉽게 적용 가능한 SAR 재밍 알고리즘을 개발하였다. 해당 알고리즘의 검증을 위해 RDA를 이용하여 방위방향과 거리방향으로 허위표적을 모의한 SAR 영상을 시뮬레이션하였다. 알고리즘 검증의 일환으로 경사거리에 따른 허위표적을 모의한 결과를 거리방향 허위표적은 경사거리와 상관없이 동일한 위치에 표적이 생성되었으며, 방위방향 허위표적은 동일한 시간지연일 경우 경사거리에 비례하여 표적의 위치가 이동하는 것을 확인할 수 있었다.

References

- [1] W. W. Goj, *Synthetic Aperture Radar and Electronic Warfare*, Boston, MA, Artech House, 1993.
- [2] M. Soumekh, "SAR-ECCM using phase-perturbed LFM chirp signals and DRFM repeat Jammer penalization," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 42, no. 1, pp. 191-205, Jan. 2006.
- [3] F. Zhou, G. Sun, X. Bai, and Z. Bao, "A novel method for adaptive SAR barrage jamming suppression," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 9, no. 2, pp. 292-296, Mar. 2012.
- [4] Q. Sun, T. Shu, K. B. Yu, and W. Yu, "A novel deceptive jamming method against two-channel SAR-GMTI based on two jammers," *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 14, pp. 5600-5610, Jul. 2019.
- [5] F. Zhou, B. Zhao, M. Tao, X. Bai, B. Chen, and G. Sun, "A large scene deceptive jamming method for spaceborne SAR," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 51, no. 8, pp. 4486-4495, Aug. 2013.
- [6] S. K. Kweon, H. Y. Yeo, S. M. Park, J. H. Han, C. S. Jung, and K. W. Kim, et al., "Performance analysis of SAR system using radar target simulation equipment," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 2, pp. 118-127, Feb. 2018.