

$\omega - k$ 알고리즘을 이용한 SAR 영상의 방위각 방향 외삽 기법 연구

A Study on the Azimuth Direction Extrapolation for SAR Image Using $\omega - k$ Algorithm

박 세 훈 · 최 인 식 · 조 병 래*

Se-Hoon Park · In-Sik Choi · Byung-Lae Cho*

요 약

본 논문에서는 고해상도 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상 획득을 위해 방위각 방향 해상도를 향상시키기 위한 방법을 소개하였다. SAR 영상 획득을 위해 $\omega - k$ (omega-k) 알고리즘을 이용하였으며, 2차원 주파수 영역에서 방위각 방향으로 AR(Auto-Regressive) 방법을 이용한 외삽을 이용하여 해상도를 향상시켰다. AR 방법은 선형 예측(linear prediction) 모델을 기반으로 한 외삽 기법이다. AR 방법을 이용한 외삽 기법 중에서 Burg 알고리즘을 이용하여 예측 차수(prediction order)와 표적의 거리에 따른 성능 비교 결과를 보여 준다.

Abstract

In this paper, we introduce a method which enhances the azimuth resolution to obtain the high-resolution SAR image. We used $\omega - k$ algorithm to obtain the SAR image and extrapolation using auto-regressive(AR) method to enhance the azimuth resolution in the 2-D frequency domain. The AR method is a linear prediction model-based extrapolation technique. In the result, we showed the performance comparison with respect to the target range and the prediction order of Burg algorithm which is one of AR method.

Key words : Synthetic Aperture Radar, $\omega - k$ Algorithm, AR Method, Burg Algorithm, High Resolution

I. 서 론

SAR(Synthetic Aperture Radar)는 주야 및 기상 변화에 관계없이 지상으로부터 반사되어오는 전파를 측정하여 2차원 고해상도 영상을 만드는 기술이다. 현재 SAR 기술이 가장 많은 비중을 적용하고 있는 분야는 항공기 및 전투기 등 지상의 형태나 적의 움직임을 탐지·추적을 위한 목적으로 사용하며, 또한 위성의 SAR 기술을 이용하여 지구의 환경적, 물

리적 변화를 관측하는 등 많은 목적으로 쓰이고 있다. 이 밖에도 SAR 기술에 대한 필요성이 증대하여 국외 및 국내에서도 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 SAR 영상을 위한 신호처리 알고리즘 중에서 방위각(azimuth) 해상도를 구현하는 방법으로 $\omega - k$ (omega-k) 알고리즘을 이용한다^[1]. $\omega - k$ 알고리즘은 고해상도 SAR 영상을 획득하는 알고리즘으로 거리 및 방위각의 2차원 주파수 영역 데이터를 2차원 정합 필터(matched filtering) 과정과 스톨트

「이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2012-009094).」

한남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Hannam University)

*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received June 29, 2012 ; Revised July 19, 2012 ; Accepted August 2, 2012. (ID No. 20120629-077)

· Corresponding Author : In-Sik Choi (e-mail : recog@hnu.kr)

보간 기법(Stolt interpolation)을 수행한 후 2차원 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 통하여 시간 영역의 이미지를 출력하는 방법이다. 또한, AR 방법은 선형 예측(linear prediction) 모델을 기반으로 한 외삽 기법으로 레이더 영상에서 해상도의 품질을 향상시키는 데 효과적으로 이용될 수 있다.

본 논문에서는 $\omega-k$ 알고리즘을 이용한 SAR 영상에서 스톨트 보간 기법 과정 후에 방위각 방향의 외삽을 위한 AR 방법 기반의 Burg 알고리즘을 이용하였으며, 예측 차수와 표적의 거리에 따른 SAR 영상의 해상도 향상도와 PSLR(Peak to Sidelobe Ratio)의 변화에 대한 성능 분석을 수행하였다.

II. 본 론

2-1 $\omega-k$ 알고리즘

본 논문에서는 SAR 영상을 획득하는 알고리즘으로 가장 많이 사용하는 $\omega-k$ 알고리즘을 이용한다. $\omega-k$ 알고리즘에 적용되는 데이터는 스텝 프리퀀시(stepped frequency) 레이더 방식에 의해 획득된 것으로, 개구합성 위치(u)와 거리 방향 주파수(ω)의 함수로 표현된다. 본 논문에 사용된 $\omega-k$ 알고리즘은 방위각 방향의 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행하여 2차원 정합 필터 과정을 갖는다. 정합 필터 과정을 거친 데이터는 방위각 방향으로는 등간격의 선형성을 가지게 되지만, 거리 방향으로는 비선형 특성을 가지게 된다. 이때, 이러한 비선형 특성을 등간격의 선형성을 가지도록 하기 위해 스톨트 보간의 과정을 거치게 된다. 알고리즘의 마지막 단계로 스톨트 보간의 결과에 IFFT를 통하여 2차원 영상을 얻게 되는 것이다^[2]. 본 논문에서 제안하는 방법은 그림 1과 같이 $\omega-k$ 알고리즘에서 스톨트 보간을 수행한 결과에 방위각 방향으로 외삽 알고리즘인 Burg 알고리즘을 적용하여 해상도를 향상시키고자 한다.

2-2 외삽 알고리즘

본 논문에서 $\omega-k$ 알고리즘에 적용되는 외삽 알고리즘은 AR 방법을 이용한다. AR 방법은 데이터의 진행 배열 순서가 과거 데이터를 이용한 순방향 예측(forward prediction)과 미래 데이터를 이용한 역방향 예측(backward prediction)의 선형 결합으로 표현

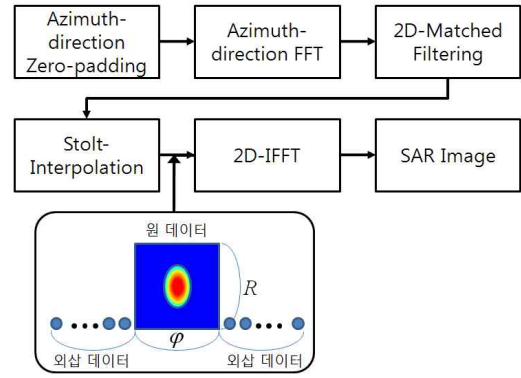


그림 1. 제안하는 SAR 영상 구현 방법
Fig. 1. Proposed SAR implementation method.

되는 선형 예측 모델을 기반으로 한다^[3].

본 논문에서 이용하는 AR 방법은 Burg 알고리즘이다. Burg 알고리즘은 참고문헌 [4]에 의하면 AR 방법 중 가장 우수한 성능을 가지고 있으며, 모델 차수 L 만큼 AR 모델 계수 $a_1 \dots a_L$ 까지를 반복해서 구하는 방식이다^[4]. 즉, 모델 차수가 1일 때, 계수 a_1 을 구하고, 그 다음 모델 차수가 2일 때, 계수 a_1 과 a_2 를 새로 구하는 방식으로 원하는 모델 차수 L 만큼 반복해서 구하는 방식이다. 본 논문은 이렇게 구한 AR 모델을 이용하여 예측 차수 M 만큼 외삽을 수행한 후, SAR 영상의 방위각 해상도 및 부엽(sidelobe) 레벨을 비교·분석한다.

III. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 시뮬레이션에 사용된 스텝 프리퀀시 레이더의 주요 파라미터는 표 1과 같다.

이상적인 점 표적(ideal point target) 데이터에 백색 가우시안 잡음(white Gaussian noise)를 섞어 실제 표적 데이터와 흡사한 환경을 만들었다. 백색 가우시

표 1. 스텝 프리퀀시 레이더의 주요 파라미터
Table 1. Parameters of stepped frequency radar.

| 구분 | 값 |
|--------------|---------|
| 중심 주파수 | 2.5 GHz |
| 대역폭 | 1 GHz |
| 스텝 개수 | 801 |
| 개구 합성 길이 | 10 m |
| 방위각 방향 샘플 간격 | 0.05 m |
| 안테나 빔 폭 | 20 도 |

안 잡음은 표적 신호대비 -20 dB의 크기를 가지도록 하였으며, 표적의 위치를 5 m, 15 m, 25 m로 설정하였다. 사용된 외삽 알고리즘은 Burg 알고리즘이며, 이때 방위각 방향 1,024개의 데이터에 적용된 예측 차수는 16개, 32개, 64개, 128개, 256개로 하여 시뮬레이션을 수행하였다.

본 논문에서 제안한 SAR 영상 형성 기법의 성능을 평가하기 위해 해상도 향상도와 PSLR을 이용하였다. SAR 해상도 향상도 IF(Improvement Factor)는 식 (1)과 같다.

$$IF = \frac{\Delta Az - \Delta Az'}{\Delta Az} \times 100 [\%] \quad (1)$$

이때, ΔAz 는 3 dB 빔폭을 나타내며, $\Delta Az'$ 는 외삽을 한 3 dB 빔폭을 나타낸다. PSLR은 그림 2와 같이 표적 신호의 최대치와 첫 번째 사이드 로브 신호의 차이로 정의하며, 단위는 dB 스케일을 사용한다^[5].

그림 3은 동일한 위치의 SAR 영상을 비교하였다. 그림 3(a)는 기존의 $\omega-k$ 알고리즘을 통해 획득된 영상이며, 그림 3(b)는 $\omega-k$ 알고리즘에 외삽 기법을 적용하여 획득된 영상이다. 영상에서 보듯이 외삽 기법을 통해 획득된 영상의 해상도가 향상됨을 알 수 있다.

그림 4는 그림 3의 SAR 영상에서 표적에 대한 방위각 방향 프로파일을 보여주고 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이 제안된 외삽 기법을 이용하면 방위각 방향으로 해상도가 향상됨을 알 수 있다.

그림 5는 동일한 예측 차수를 사용하였을 때 표적의 위치에 따른 SAR 영상을 비교한 그림이다.

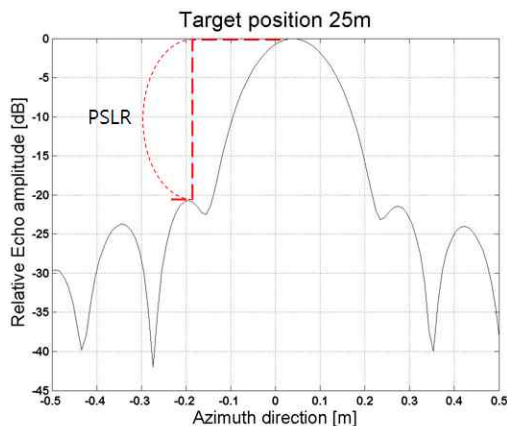
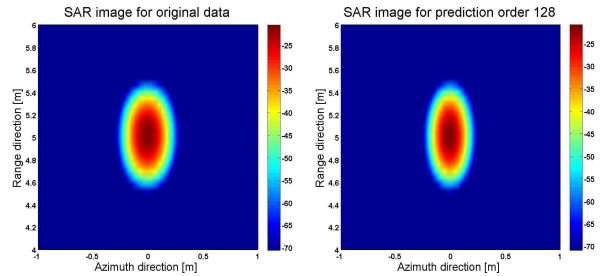


그림 2. SAR 영상 분석을 위한 PSLR의 정의
Fig. 2. Definition of PSLR for analyzing SAR image.



(a) 외삽을 하지 않은 5 m 위치의 표적 (b) 128개의 외삽을 한 5 m 위치의 표적

(a) Without extrapolation, 5 m (b) After extrapolation, 5 m

그림 3. 5 m 표적에 대한 외삽 전후의 해상도 비교
Fig. 3. Comparison of resolution before and after extrapolation for 5 m target.

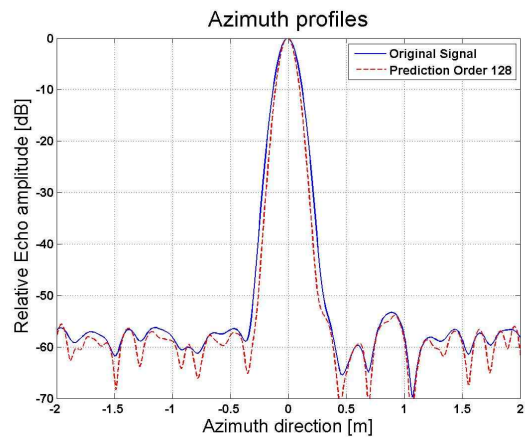


그림 4. 그림 3의 표적에 대한 방위각 방향 프로파일 비교

Fig. 4. Comparison of the azimuth profiles for target in Fig. 3.

그림 5에서 보는 바와 같이 동일한 예측 차수 128개를 사용하였을 때, 표적의 위치가 멀어짐에 따라 SAR 영상의 품질이 저하되며, 가까운 표적일수록 SAR 영상의 품질이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 그림 5의 SAR 영상에서 표적에 대한 방위각 방향 프로파일을 보여주고 있다. 외삽 기법을 이용하면 방위각 방향으로 해상도가 조금 향상됨을 알 수 있다.

표 2는 예측 차수와 거리에 따른 SAR 해상도 향상도와 PSLR에 대하여 몬테 카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 20번 수행한 그 결과를 보여주고 있다.

외삽 기법의 예측 차수가 커짐에 따라 방위각 방향 해상도는 향상되며, PSLR은 조금씩 나빠지는 것을 알 수 있다. 또한, 근 거리에 있는 표적일수록 외

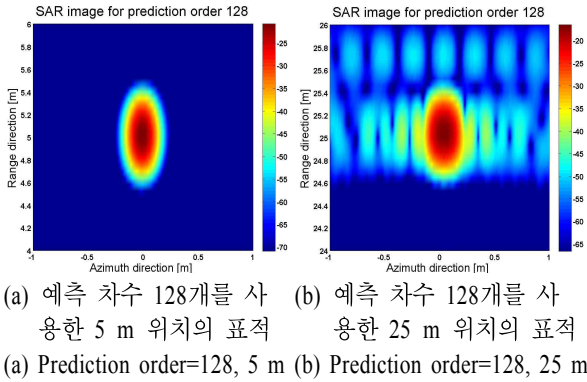


그림 5. 거리에 따른 SAR 해상도 비교
Fig. 5. Comparison of SAR resolution for different range.

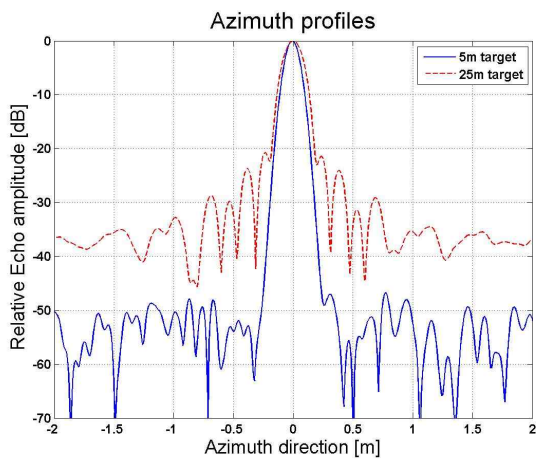


그림 6. 그림 5의 표적에 대한 방위각 방향 프로파일 비교
Fig. 6. Comparison of the azimuth profiles for target in Fig. 5.

표 2. 예측 차수에 따른 향상도 및 PSLR
Table 2. IF & PSLR for various prediction order.

| 거리 | | 5 m | 15 m | 25 m |
|------|-------|----------|----------|----------|
| 향상도 | M=16 | 4.72 % | 3.98 % | 1.94 % |
| | M=32 | 8.21 % | 6.80 % | 3.24 % |
| | M=64 | 12.86 % | 10.27 % | 4.98 % |
| | M=128 | 17.04 % | 12.81 % | 6.64 % |
| | M=256 | 19.56 % | 17.49 % | 7.90 % |
| PSLR | M=16 | 56.27 dB | 43.15 dB | 23.56 dB |
| | M=32 | 56.40 dB | 42.50 dB | 22.81 dB |
| | M=64 | 56.14 dB | 41.32 dB | 21.77 dB |
| | M=128 | 56.17 dB | 40.60 dB | 20.72 dB |
| | M=256 | 55.87 dB | 36.47 dB | 20.00 dB |

삽 기법에 의한 해상도 향상도가 더 높음을 알 수 있다. 이는 시뮬레이션에서 개구 합성의 길이에 기인한 것으로 판단된다. 개구 합성 길이가 5 m 위치의 표적에는 충분히 길지만, 25 m 위치의 표적에는 짧은 신호 대 잡음비가 상대적으로 낮아 외삽 기법에 의한 향상도가 낮은 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 고해상도 SAR 영상을 얻기 위한 $\omega-k$ 알고리즘 기반의 방위각 방향 외삽 성능 분석에 관한 연구를 하였다. 시뮬레이션 결과, 그림 3에서 외삽 기법인 Burg 알고리즘을 이용하였을 때 외삽 기법을 사용하지 않을 때보다 SAR 영상의 해상도가 향상된다는 것을 확인하였다. 본 논문에서는 제안하는 SAR 영상 형성 기법 성능을 분석하기 위해서 해상도 향상도와 PSLR을 분석해 보았다. 외삽 기법의 예측 차수가 커짐에 따라 방위각 방향 해상도는 향상되며, PSLR은 조금씩 나빠지는 것을 알 수 있었다. 또한, 개구합성의 길이가 짧은 근거리 SAR 시스템에서는 근거리 표적일수록 외삽 기법에 의한 방위각 방향 해상도 향상도가 더 좋음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] I. G. Cumming, Y. L. Neo, and F. H. Wong, "Interpretation of the omega-K algorithm and comparisons with other algorithms", *IGARSS '03 Proceedings*, vol. 3, pp. 1455-1458, 2003.
- [2] M. Soumekh, *Synthetic Aperture Radar Signal processing with MATLAB Algorithms*, John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [3] S. M. Kay, *Modern Spectral Estimation : Theory and Application*, Prentice Hall : Englewood Cliff, NJ, Jan. 1988.
- [4] K. -T. Kim, J. -H. Bae, and H. -T. Kim, "Effect of AR model-based data extrapolation on target recognition performance", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, no. 4, pp. 912-914, Apr. 2003.
- [5] 곽준영, "RMA를 이용한 Spotlight SAR 영상형성 및 품질평가를 위한 시뮬레이터 개발 및 구현", *한국항공우주학회지*, 39(2), pp. 183-194, 2011년 2월.