

실제 클러터 배경에서 SAR 영상 임펄스 응답 특성 분석

정철호 · 정재훈 · 오태봉 · 박영길[†]

한국항공대학교 항공전자공학과

SAR Image Impulse Response Analysis in Real Clutter Background

Chul-Ho Jung, Jae-Hoon Jung, Tae-Bong Oh, and Young-Kil Kwag[†]

Department of Avionics, Korea Aerospace University

Abstract : A synthetic aperture radar (SAR) system is of great interest in many fields of civil and military applications because of all-weather and luminance free imaging capability. SAR image quality parameters such as spatial resolution, peak to sidelobe ratio (PSLR), and integrated sidelobe ratio (ISLR) can be normally estimated by modeling of impulse response function (IRF) which is obtained from various system design parameters such as altitude, operational frequency, PRF, etc. In modeling of IRF, however, background clutter environment surrounding the IRF is generally neglected. In this paper, analysis method for SAR image quality is proposed in the real background clutter environment. First of all, SAR raw data of a point scatterer is generated based on various system parameters. Secondly, the generated raw data can be focused to ideal IRF by range Doppler algorithm (RDA). Finally, background clutter obtained from image of currently operating SAR system is applied to IRF. In addition, image quality is precisely analyzed by zooming and interpolation method for effective extraction of IRF, and then the effect of proposed methodology is presented with several simulation results under the assumption of estimation error of Doppler rate.

Key Words : Synthetic aperture radar, SAR image quality parameter, Impulse response function, Real background clutter environment, Zooming and interpolation method.

요약 : 영상 레이더(SAR)는 주야간, 일조량에 관계없이 전천후로 영상획득이 가능하여 군사용으로는 물론 과학 민수용으로 광범위하게 활용된다. SAR 시스템에서는 고도, 운용 주파수, PRF 등의 다양한 시스템 설계 파라미터로부터 생성된 임펄스 응답 함수(impulse response function)를 분석하여 공간해상도, PSLR, ISLR 등 영상품질 성능 파라미터의 추정이 가능하다. 그러나 모델링된 임펄스 응답 특성은 주변 클러터 환경이 고려되지 않은 이상적인 경우이므로 실제 주변 클러터 환경을 고려한 SAR 영상품질 분석 기법이 필요하다. 본 논문에서는 먼저 주요 SAR 시스템 파라미터를 기반으로 SAR 점표적 원시 데이터를 생성하고, 거리-도플러 알고리즘(range-Doppler algorithm)을 이용하여 임펄스 응답 데이터를 형성한다. 그리고 실제 SAR 영상의 일부분을 추출하여 주변 배경 클러터 환경 데이터를 형성한 후, 임펄스 응답 데이터를 삽입한다. 형성된 응답 데이터는 영상품질의 정확도를 향상시키고자 확장보간법을 도입하여 분석하고, 이에 대한 효과를 주요 도플러 파라미터인 방위 FM을 오차에 따른 성능분석을 수행함으로써 확인한다.

1. 서론

영상 레이다 SAR(synthetic aperture radar)는 전자파를 이용하는 능동센서이므로 비, 구름, 안개 등 기상조건이나 주야간, 역광 등 일조현상에 관계없이 전천후로 광범위한 지역의 영상 획득이 가능하다. 일반 레이다의 공간 해상도는 주어진 안테나 크기에 제약을 받지만 SAR는 합성 빔 원리를 이용하여 파장이나 탐지거리와 무관하게 고해상도 영상을 얻을 수 있는 특징이 있다. 최근 SAR 기술의 급속한 발달로 국경감시, 군사시설 탐지 등 군사 응용분야 뿐만 아니라 홍수, 산불, 기름 유출, 지진과 같은 자연재해 감시분야와 지질탐사, 농작물 작황, 도시개발 등 과학분야 및 민수용으로 활용분야가 증가하고 있는 추세이다(Henderson and Xia, 1997; Romeiser and Runge, 2007).

SAR는 일반적인 광학영상과 달리 복잡한 영상형성 과정을 통해 이차원 고해상도 영상을 제공한다. 일정한 영상품질을 유지하기 위해서는 개념설계, 하드웨어 개발 및 통합, 사전 테스트의 과정에서 전체 시스템의 성능을 예측하고 분석하는 것이 필요하다. 특히 위성 SAR의 경우 시스템 개발기간이 길고 복잡한 설계과정을 필요로 하며, 운용중인 위성 시스템의 경우 시스템 자체 보수가 불가하기 때문에 운용 단계에서 발생할 수 있는 시스템 성능 예측이나 성능 저하요인을 분석하기 위한 특별한 성능분석 방법이 필요하다.

운용중인 SAR 시스템은 지상의 코너 리플렉터나 트랜스폰더로부터 획득한 점표적 데이터에서 임펄스 응답 특성을 연구하여 시스템 성능 분석을 수행한다. 그리고 설계 및 개발 단계의 SAR 시스템에서는 플랫폼 속도, 고도, 운용 주파수, PRF 등의 다양한 시스템 설계 파라미터로 생성된 IRF (impulse response function)를 통하여 공간해상도, PSLR (peak to sidelobe ratio), ISLR (integrated sidelobe ratio) 등 영상품질 성능 파라미터의 분석이 가능하다. 점표적 시뮬레이션 모델을 통한 영상품질 분석은 간단하고 편리하게 구현할 수 있기 때문에 지난 몇 년간 연구되어 왔지만, 잡음이 없는 이상적인 환경이나 수식적 통계 모델을 통한 클러터 환경에서의 분석 연구가 진행되고 있다(Allan and Collins, 2006; Letsch and Berens, 2005).

실제 클러터 환경은 SAR 영상품질 뿐만 아니라 시스

템의 성능 추정에 큰 영향을 미친다. 본 논문에서는 실제 클러터 환경을 고려한 SAR 영상의 성능 예측 및 품질 분석 방법을 제시한다. 먼저 현재 운용중인 SAR 시스템에서 획득된 영상의 일부분을 추출하여 점표적 주변의 실제 배경 클러터 환경 데이터를 구성한다. 그리고 시스템 설계 파라미터를 기반으로 생성한 SAR 점표적 데이터에 클러터 환경 데이터를 융합하여 분석 데이터를 구축한다. 마지막으로 확장보간법을 적용하여 클러터 환경에 따른 임펄스 응답 특성 영향을 분석하고, 주요 도플러 파라미터인 방위 FM을 오차에 의해 왜곡이 생긴 IRF를 분석하여 확장보간법의 성능을 확인한다.

2. 영상 데이터 형성

1) SAR 영상 형성 방법

임펄스 응답 특성 분석을 위한 본 시뮬레이션은 기하학적인 신호수집 관점이 고려된 SAR 신호 모델링으로부터 시작된다. SAR 시스템은 충분한 SNR을 유지하기 위해 펄스폭이 넓은 LFM (Linear FM) 펄스를 송신하고, 수신시 펄스압축 기법을 통하여 거리방향으로 고해상도 성능을 얻을 수 있다. 거리 FM 변화율 K_r 을 갖는 송신신호는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$s_{pu}(\tau) = \omega_r(\tau) \cos \{ 2\pi f_0 \tau + \pi K_r \tau^2 \} \quad (1)$$

여기서 ω_r 는 펄스크기, f_0 는 중심주파수를 나타낸다. 거리 R_0 에 위치하는 점표적에 대한 수신신호는 시간적인 지연과 표적의 반사 특성에 따라 고유의 위상 정보 ψ 를 가진다. 이는 식 (2)와 같이 플랫폼 이동에 따른 이차원 신호로 표현되며, 여기서 ω_a 는 왕복 안테나 빔 패턴을 의미한다.

$$s_r(\tau, \eta) = A_0 \omega_r(\tau - 2R(\eta)/c) \omega_a(\eta - \eta_c) \times \cos \{ 2\pi f_0 (\tau - 2R(\eta)/c) + \pi K_r (\tau - 2R(\eta)/c)^2 + \psi \} \quad (2)$$

SAR에서는 Fig. 1과 같이 플랫폼이 이동함에 따라 플랫폼과 표적간의 상대적인 거리 변화가 생긴다. 이는 방위방향으로 LFM 변조 특성을 가지는 도플러 변위 (Doppler shift)를 발생시켜 방위방향으로 펄스압축을 가능하게 한다.

영상형성 과정은 크게 거리방향 압축과 방위방향 압축으로 나누어 처리된다. 이는 수신신호와 사전에 설계

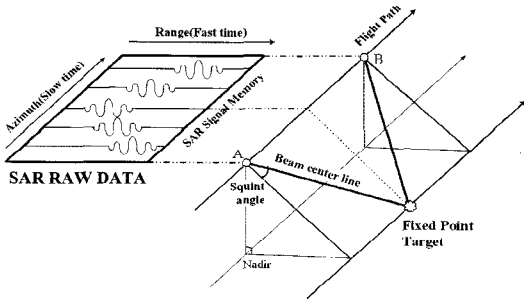


Fig. 1. Geometry model of two-dimensional SAR signal acquisition.

된 각 방향 기준신호와와의 정합필터링으로 수행되며 계산의 효율성을 위해 주파수 도메인에서 처리한다. 여기서 거리방향 기준신호는 송신시 사용된 거리 FM율에 따라 설계되며, 방위방향 기준신호는 도플러 변위 특성을 이용하여 방위 FM율을 추정함으로써 얻을 수 있다. 방위방향의 FM 변화율 K_a 는 플랫폼 속도의 함수로 식 (3)과 같이 추정 할 수 있다.

$$K_a = \frac{2V_r^2}{\lambda R_0} \quad (3)$$

SAR는 플랫폼 이동에 따라 이차원 메모리 공간상에 표적의 위치가 이동되는 문제가 발생된다. 이를 RCM (range cell migration)이라 하며, 방위방향으로의 압축율을 높이기 위해서는 RCM 보정 과정이 필요하다. RCM 보정은 동일한 거리에 위치하는 모든 표적들이 거리-도플러 도메인에서 동일선상에 나타나는 특징을 이용하여 거리-도플러 도메인에서 수행할 수 있다. 방위 시간 η 와 도플러 주파수 f_η 의 관계는 식 (4)와 같다.

$$f_\eta \approx -K_a \eta \quad (4)$$

식 (2)의 이차원 수신신호는 방위방향으로 주파수 변환을 적용시킴으로써 식 (5)과 같은 거리-도플러 도메인 신호를 얻을 수 있다(Cumming and Wong, 2002).

$$S_{rd}(\tau, f_\eta) \approx \omega_r \left(\tau - \frac{2R_{rd}(f_\eta)}{c} \right) W_a(f_\eta - f_{\eta_c}) \exp(j\theta_{rd}) \quad (5)$$

$$\theta_{rd} \approx \frac{\pi f_\eta^2}{K_a} + \pi K_r \left[\tau - \frac{2R_{rd}(f_\eta)}{c} \right]^2 - \frac{4\pi R_0}{\lambda} \quad (6)$$

$$R_{rd}(f_\eta) \approx R_0 + \frac{\lambda^2 R_0}{8V_r^2} f_\eta^2 \quad (7)$$

여기서 W_a 는 스펙트럼 도메인에서 왕복 안테나 빔

패턴, f_{η_c} 는 빔 중심이 표적을 조향할 때의 주파수인 도플러 중심 주파수(Doppler centroid frequency), θ_{rd} 는 위상성분을 나타낸다. R_{rd} 는 거리-도플러 도메인에서의 SAR와 표적간의 거리방정식으로 f_η 에 대한 포물선의 형태로 나타낸다. RDA(range-Doppler algorithm)는 식 (7)에서 RCM 양을 나타내는 두 번째 항을 제거함으로써 거리-도플러 도메인에서 RCM을 보정하는 SAR 영상형성기법이다(Horrell and Inggs, 1998). 본 논문에서는 RDA를 기반으로 SAR 영상 형성을 수행한다.

2) 점표적 원시 데이터 생성

SAR 영상품질은 IRF를 분석함으로써 평가할 수 있다. 실제 운용중인 시스템의 경우 지상의 코너 리플렉터 등으로부터 획득된 점표적 영상에서 IRF의 추출이 가능하지만, 설계 또는 개발 단계의 SAR 시스템에서는 점표적 원시 데이터의 모델링과 시뮬레이션으로부터 영상 품질을 분석할 수 있다. 또한 다양한 탑재체와 플랫폼 설계 파라미터를 입력 변수로 생성된 점표적 원시 데이터는 시스템 설계와 운용 중에 발생하는 성능 저하 분석을 가능하게 한다. 그러므로 운용 주파수, 송신 FM율, 펄스 송신 시간, 그리고 샘플링 율과 같은 주요 탑재체 파라미터와 고도, 플랫폼 속도, 스윙트 각과 같은 플랫폼 파라미터를 고려한 원시 데이터의 생성이 이루어져야 한다(Jung *et al.*, 2007).

RADARSAT-1은 5년이상 시스템이 운용되어 그 성능이 입증되었으며, 영상 데이터, 시스템 파라미터, 성능 파라미터 등 다양한 자료가 공개되어 있으므로 본 논문에서는 RADARSAT-1을 시스템 모델로 선정한다. 따라서 이에 적합한 기하학 모델, 탑재체 및 플랫폼 파라미터로부터 점표적 원시 데이터를 생성한다. Table 1은 주요 시뮬레이션 파라미터이다.

Table 1. Key parameters for simulation

Parameter	Value
Platform velocity	7100 m/s
Altitude	798 km
Operational parameter	5.3 GHz
Pulse duration time	42 μ sec
Chirp rate	71.4 KHz/ μ sec
Sampling rate	32.317 MHz
PRF	1300 Hz

3) 배경 클러터 환경 데이터 추출

배경 클러터 환경 데이터 추출을 위하여 본 논문에서는 점표적 생성 환경과 유사한 RADARSAT-1의 영상을 선택하였다. 2002년 6월 16일 그리니치 표준시간으로 02:03:50에서 02:04:05 동안 상승궤도 #34522에서 획득한 RADARSAT-1 fine beam 2 모드의 캐나다 밴쿠버 영상 데이터는 바다, 농경지, 도시, 산 등의 다양한 후방산란체에 대한 정보를 포함하고 있으므로 클러터 환경 데이터의 추출에 적합하다. 영상 데이터는 원시 데이터로 RDA를 사용하여 영상을 형성한다. 그리고 형성된 SAR 영상에서 사용자의 요구조건에 부합되는 해당 지역의 데이터를 추출하여 클러터 환경 데이터를 구성하고, 앞서 생성한 점표적 시뮬레이션 데이터의 융합을 통하여 실제 클러터 영향이 고려된 분석 데이터를 준비한다. Fig. 2는 본 논문에서 형성한 RADARSAT-1 영상이다.

바다나 호수와 같은 지역은 반사도가 극히 낮기 때문에 이들 지역으로부터 수신된 신호는 SAR 시스템 자체의 잡음수준으로 고려된다. 실제로 SAR 시스템의 영상 화질을 결정하는 중요한 시스템 성능 파라미터인 NESZ (noise equivalent sigma zero)는 주어진 관측점에서 반사되는 신호의 크기가 수신기의 잡음과 동등하게 되는 표적의 반사도로, SAR 영상에서 반사도가 낮은 지역의 후방산란계수를 측정하여 NESZ를 추정한다. 또한 SAR에서는 통계적 특성이 일정한 지역, 즉 우림지대, 농경지 등과 같은 반사특성이 균질한 지역에서 영상품질 분석이 주로 이루어진다. 그러므로 본 논문에서는 여러 지역 중에 바다와 농경지 지역 영상을 추출하여 클러



Fig. 2. RADARSAT-1 scene of Vancouver for clutter environment extraction.

터 환경 데이터를 구축함으로써 실제 환경을 고려한 영상의 품질을 분석한다.

3. 영상품질 분석 기법

1) 영상품질 성능 파라미터

SAR의 궁극적인 목표가 지표면 영상의 획득이므로 시스템 성능의 평가는 영상품질과 직결된 주요 성능 파라미터를 분석함으로써 이루어진다. 따라서 영상품질의 성능을 평가하기 위한 변수의 정립이 필요하다.

일반적으로 임펄스 응답이란 시스템에 임펄스 신호를 입력으로 가함으로써 얻을 수 있는 응답으로 SAR 시스템을 선형시스템으로 가정하여 Fig. 3과 같은 임펄스 응답 특성을 분석함으로써 영상품질 파라미터를 구할 수 있다. 공간해상도는 지표상의 물체를 식별할 수 있는 최소 단위로 임펄스 응답에서 주엽 에너지의 절반에 해당하는 지점인 주엽 최대치의 3 dB 낮은 지점에서 주엽 폭을 측정하여 픽셀 또는 미터 단위의 공간해상도를 추정할 수 있다. PSLR은 주변 약한 표적을 탐지할 수 있는 능력을 나타내는 성능 파라미터로 주엽과 부엽의 최대치의 비율로 정의된다(Meadows and Wright, 2002).

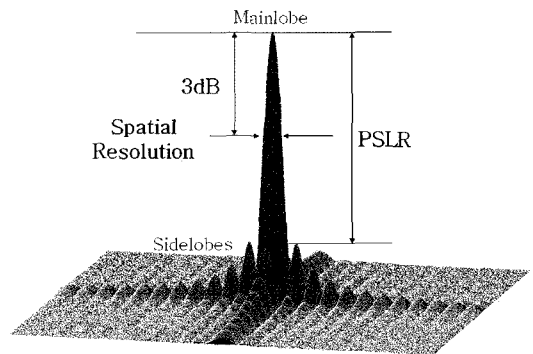


Fig. 3. Graphical representation of two-dimensional impulse response function.

2) 확장보간법을 이용한 임펄스 응답 특성 분석

IRF의 효과적인 분석을 위해 각국의 SAR 시스템 개발 기관에서는 고유의 분석기법을 연구하여 자국 시스템 분석에 적용하고 있다. 본 논문에서는 보다 정확한 IRF 분석을 위해 확장보간법을 이용한 품질 분석 기법을 제시하며, Fig. 4는 단계별 분석 과정을 나타낸다.

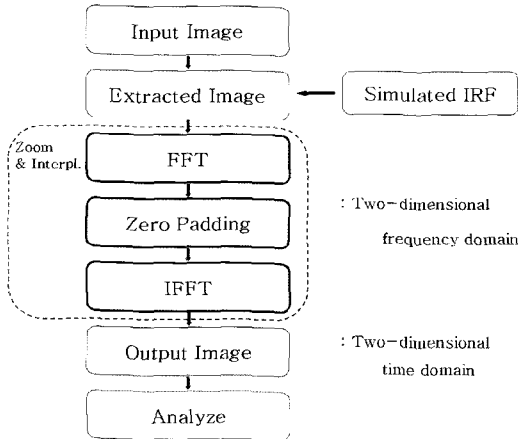


Fig. 4. Block diagram of SAR image quality analysis method.

분석 과정은 크게 영상 추출, 확장보간 수행, 영상품질 분석의 3단계로 수행된다. 먼저 실제 운용중인 SAR 시스템의 영상에서 주변 배경 클러터로 적합한 일부 지역의 데이터를 추출하는 과정이 필요하다. 추출과정은 확장보간 과정에서 발생할 수 있는 인접 지역의 간섭 영향을 줄이며 또한 확장보간 이후 처리할 전체 데이터량을 줄이기 위함이다. 이상적인 IRF의 생성은 배경 클러터의 추출 대상 영상과 동일한 시스템 파라미터를 사용하여 같은 환경조건에서 발생되며 중첩 원리에 따른 합성과정에 의해 배경 클러터가 삽입된다.

배경 클러터가 적용된 SAR 영상 분석에 있어 보다 정확한 영상품질 파라미터를 구하기 위해 확장보간을 수행한다. 샘플링된 이산신호는 스펙트럼 영역에서 영삽입(zero padding)을 통하여 보간 효과를 얻을 수 있다(Brigham, 1988). 우선 준비된 영상 데이터를 FFT를 통해 이차원 주파수 영역으로 변환한다. 변환된 이차원 스펙트럼은 고주파에 해당하는 스펙트럼 중심을 기준으로 균등하게 네 등분되고, 그 중심 영역에 영을 삽입함으로써 전체적으로 확장된 스펙트럼을 얻는다. 고주파 영역의 영삽입은 시간 영역에서의 샘플링율을 향상시키며, 영삽입의 정도가 커질수록 좀더 조밀한 보간 성능을 얻을 수 있다. 마지막으로 확장된 스펙트럼을 IFFT를 통해 원래의 시간 영역으로 역변환을 수행함으로써 최종적으로 확장보간된 IRF 신호를 얻을 수 있다. Fig. 5는 확장보간 이전의 스펙트럼 데이터로부터 확장보간 기법이 적용되는 과정을 나타낸다. 본 논문에서는 64×64 크기로 영상을 추출하고, 영삽입을 통하여 8배 확

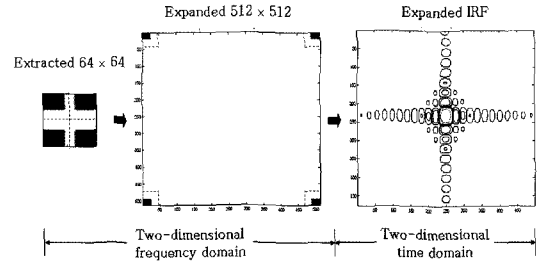


Fig. 5. Zoom and interpolation method.

장된 512×512 데이터를 형성한다. 확장보간된 IRF를 분석하여 산출한 영상품질 파라미터들은 확장보간을 수행하지 않은 경우보다 높은 정확도를 가진다.

4. 시뮬레이션 및 성능 분석

본 시뮬레이션은 MATLAB으로 구현하였다. 먼저 SAR 기하학적인 구조에 대한 수신신호의 모델을 정립하고, RADARSAT-1 탑재체 파라미터와 플랫폼 파라미터를 이용하여 점포적 원신호를 생성한다. 생성된 원시 데이터는 RDA를 통하여 이상적인 점포적 영상 데이터로 형성된다. 본 논문에서는 실제 환경과 유사한 조건에서 시스템 성능을 분석하기 위하여 실제 SAR 영상에서 추출한 배경 클러터 환경에 점포적 데이터를 삽입하여 분석 데이터를 구축한다. 점포적 데이터를 클러터 환경에 삽입하기 위해서는 데이터 내 픽셀 값의 조정 과정이 필요하다. 즉 실제 클러터 반사도와 시뮬레이션된 점포적 반사도를 맞추기 위하여, 실제 영상에서 가장 강한 반사도를 가지는 표적 세기에 대비하여 점포적의 수신신호 세기를 조정한다.

시스템 설계 및 개발 단계에서 시스템의 성능을 평가하기 위하여 모델링된 IRF는 가장 이상적인 성능을 가진다. 하지만 실제 운용중인 시스템은 잡음과 주변 환경에 의해 성능 저하가 발생된다. RADARSAT-1 fine beam 모드의 경우 역시 이상적인 방위해상도는 8 m, PSLR은 -20 dB 이하이나, 실제 방위해상도는 8.9 m, PSLR -15 dB까지 성능저하가 발생된다(Srivastava et al., 2001). 본 논문에서는 실제 클러터 데이터를 이용하여 실질적인 시스템 성능을 분석한다. Fig. 6은 주변 배경 클러터에 따른 영향을 확장보간을 이용하여 추출한

IRF이며, Table 2는 각 경우에 대한 분석 결과이다.

이상적인 IRF에 대한 방위방향 공간해상도는 주엽의 최대치에서 3 dB 낮은 지점의 폭인 12.1 cell 정도이며 이를 미터 단위로 환산하면 8.24 m의 해상도를 구할 수 있다. PSLR은 주엽과 부엽 최대치 비를 통하여 -16.74 dB로 산출되었다. 공간해상도의 경우 클러터 환경에 따른 성능변화가 크게 관찰되지 않지만 PSLR의 경우 바다지역에서는 -16.19 dB, 농경지에서는 -15.17 dB로 성능저하가 비교적 크게 나타남을 확인할 수 있다.

확장보간법은 시간 영역의 샘플링을 향상시키는 방법으로 이를 적용하여 산출한 영상품질 파라미터는 적용하지 않은 경우에 비해 높은 정확도를 가진다. 일반적으로 시스템 성능 저하나 신호처리상에서 왜곡이 전혀 없는 경우에는 그 차이가 크지 않으나, 도플러 파라미터의 추정 오류 등으로 인해 왜곡이 발생한 경우 확장보간에 따른 효과가 좀더 뚜렷하게 나타난다. 따라서 본 논문에서는 방위 FM율의 추정오차가 발생하는 경우에

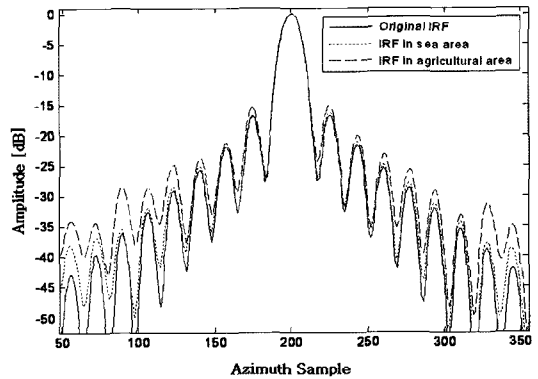
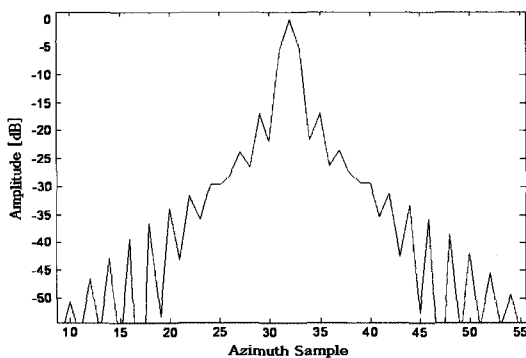


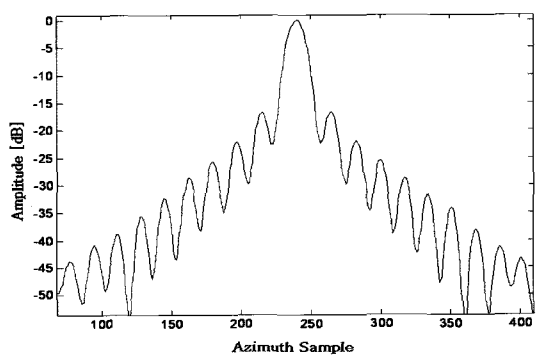
Fig. 6. Effect of real background clutter.

Table 2. PSLR in real background clutter

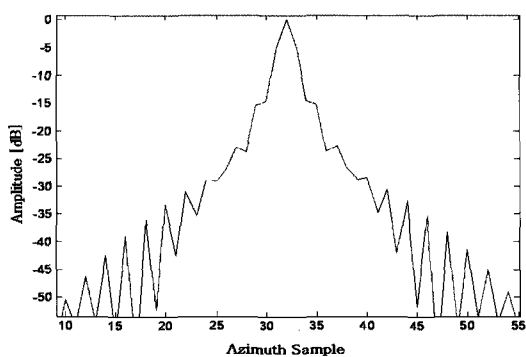
	PSLR
Original IRF	-16.74 dB
IRF in sea area	-16.19 dB
IRF in agricultural area	-15.17 dB



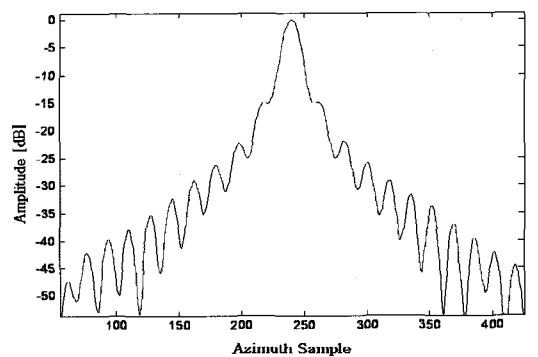
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 7. Performance comparison of analysis method under the assumption of error in azimuth FM rate. (a) Non-processing in error of 0.1%. (b) Zooming and interpolation processing in error of 0.1%. (c) Non-processing in error of 0.25%. (d) Zooming and interpolation processing in error of 0.25%.

Table 3. Analysis result of image quality parameter

		Resolution	PSLR
Error of 0.1%	Non-processing	6.22 m (1.14 cell)	-16.79 dB
	Zoom & Interpolation	8.3 m (12.15 cell)	-16.58 dB
Error of 0.25%	Non-processing	6.5 m (1.2 cell)	-22.63 dB
	Zoom & Interpolation	8.33 m (12.2 cell)	-14.83 dB

IRF 성능차이를 분석함으로써 확장보간이 적용되었을 때의 효과를 확인한다. Fig. 7은 0.1%, 0.25%의 방위 FM을 오차에 따른 IRF 결과로, 여기서 (a)와 (c)는 일반적인 분석기법으로 추출한 IRF의 결과이며 (b)와 (d)는 확장보간법을 이용한 결과이다.

확장보간법을 적용하지 않은 IRF의 경우 적용한 IRF에 비해 프로파일이 부드럽지 못하고 계단처럼 부분적으로 끊어진 형태로 나타난다. 이는 공간해상도를 추정할 때 픽셀수 측정에 있어 부정확성을 유발한다. 본 논문에서 제안한 분석기법의 장점은 특히 방위 FM을 오차가 큰 Fig. 7 (c)와 (d)를 통하여 뚜렷이 확인 할 수 있다. Fig. 7 (c)의 경우 첫 번째 부엽이 주엽과 겹쳐짐으로써 최대 부엽 레벨을 결정하기 모호하여 정확한 PSLR을 얻을 수 없다. 하지만 확장보간법을 적용한 Fig. 7 (d)의 IRF 경우 첫 번째 부엽이 명확하게 구분되어 정확한 PSLR의 측정이 가능하다. 각 경우에 대한 영상품질 파라미터의 자세한 측정 결과를 Table 3에 나타내었다. 여기서 확장보간된 IRF의 공간해상도 픽셀수가 크게 증가하였지만, 이는 샘플링 율 향상에 따른 픽셀수 증가 현상으로 실제 미터 단위의 공간해상도로 환산하여 정확한 품질 측정이 가능하다. 그리고 0.25% 오차에 대한 PSLR에서 확장보간이 적용되지 않은 경우 PSLR 성능이 크게 향상되는데, 이는 Fig. 7 (c)에서 확인 가능하듯이 원래 -15 dB 부근에 나타나야 할 실제 부엽이 마치 주엽의 일부분처럼 나타나 PSLR의 측정 오차를 발생시킨 것이다. 따라서 확장보간법을 적용하였을 때 영상품질 파라미터의 분석이 정확해지는 것을 확인 할 수 있다.

5. 결론

SAR 시스템에서는 다양한 시스템 설계변수를 기반으로 점표적 데이터를 형성하여 IRF를 분석함으로써 영

상의 품질을 예측할 수 있다. 하지만 점표적 시뮬레이션 모델은 표적 주변 클러터와 잡음 환경을 고려하지 않은 이상적인 경우로, 본 논문에서는 실제 주변 클러터 환경을 고려한 SAR 영상 임펄스 응답 특성 분석을 제안한다. 먼저 RADARSAT-1 시스템 파라미터를 기반으로 이차원의 점표적 데이터를 생성하고 RADARSAT-1 영상의 일부분을 추출하여 실제 배경 클러터 환경 데이터를 구성한다. 그리고 효과적인 영상품질 분석을 위하여 주파수 도메인에서 영삽입을 수행한 후 클러터에 따른 IRF를 분석하였으며, 방위 FM을 추정 오차에 따른 성능저하를 확장보간법을 이용하여 분석하고 이를 기존 방법을 통한 분석 결과와 비교하였다. 기존 방법을 통한 분석의 경우 특정 픽셀지점과 픽셀값의 확인이 모호하여 정확한 품질 파라미터 추정이 어렵지만, 확장보간법을 적용한 경우 명확한 분석을 수행할 수 있었다.

본 시뮬레이션은 시스템 파라미터의 유연성과 확장성을 고려하여 MATLAB으로 구현하였으며, 시스템 환경 데이터와 파라미터 설정이 가능하므로 항공기 및 위성 탑재체 등의 SAR 시스템 설계와 SAR 영상품질 분석에 효과적으로 활용될 것이다.

사 사

본 연구는 한국항공우주연구원 다목적 실용위성 5호 개발사업의 위탁연구과제의 일부로 지원되었습니다.

참고문헌

- Allan, J. M. and M. J. Collins, 2006. Design and testing of a java-based digital SAR signal simulation system, *Proc. of 2006 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Denver, Colorado, US, Jul. 31-Aug. 4.
- Brigham, E. O., 1988. *Fast fourier transform and its applications*, Prentice-Hall.
- Cumming, I. G. and F. H. Wong, 2002. *Digital processing of synthetic aperture radar data*, Artech House, Norwood, MA, USA.

- Henderson, F. M. and Z. G. Xia, 1997. SAR applications in human settlement detection, population estimation and urban land use pattern analysis: a status report, *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(1): 79-85.
- Horrell, J. M. and M. R. Inggs, 1998. Low frequency range-Doppler SAR processing without secondary range compression, *Proc. of 1998 South Africa Symposium on Communications and Signal Processing*, Rondebosch, South Africa, Sep. 7-8.
- Jung, C. H., M. S. Choi, and Y. K. Kwag, 2007. Parameter based SAR simulator for image quality evaluation, *Proc. of 2007 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Barcelona, Spain, Jul. 23-27.
- Letsch, K. and P. Berens, 2005. PSLR estimation for SAR systems with consideration of clutter background, *Proc. of 2005 SPIE International Society for Optical Engineering*, Brugge, Belgium, Sep. 19.
- Meadows, P. J. and P. A. Wright, 2002. ASAR IMP image quality (VV polarisation), *Proc. of the Envisat Calibration Review*, ESTEC ESA, Noordwijk, Netherlands, Sep. 9-13.
- Romeiser, R. and H. Runge, 2007. Theoretical evaluation of several possible along-track InSAR modes of TerraSAR-X for ocean current measurements, *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(1): 21-35.
- Srivastava, S. K., B. T. Banik, P. Le. Dantec, R. K. Hawkins, T. I. Lukowski, and K. P. Murnaghan, 2001. RADARSAT-1 image quality/five years of achievement, *Proc. of 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Sydney, Australia, Jul. 9-13.