

SPECAN 알고리즘을 이용한 Radatsat-1 ScanSAR Quick-look 신호 처리 및 검증 알고리즘 구현

송정환* · 이우경* · 김동현**†

*한국항공대학교 항공전자공학과, **(주)썬트랙아이

Radarsat-1 ScanSAR Quick-look Signal Processing and Demonstration Using SPECAN Algorithm

Jung-Hwan Song, Woo-Kyung Lee, and Dong-Hyun Kim †

*Department of Electronic Engineering and Avionics, Korea Aerospace University, **Ground System, Satreci

Abstract : As the performance of the spaceborne SAR has been dramatically enhanced and demonstrated through advanced missions such as TerraSAR and LRO(Lunar Reconnaissance Orbiter), the need for highly sophisticated and efficient SAR processor is also highlighted. In Korea, the activity of SAR researches has been mainly concerned with SAR image applications and the current SAR raw data studies are mostly limited to stripmap mode cases. The first Korean spaceborne SAR is scheduled to be operational from 2010 and expected to deliver vast amount of SAR raw data acquired from multiple operational scenarios including ScanSAR mode. Hence there will be an increasing demand to implement ground processing systems that enable to analyze the acquired ScanSAR data and generate corresponding images. In this paper, we have developed an efficient ScanSAR processor that can be directly applied to spaceborne ScanSAR mode data. The SPECAN(Spectrum Analysis) algorithm is employed for this purpose and its performance is verified through RADARSAT-1 ScanSAR raw data taken over Korean peninsular. An efficient quick-look processing is carried out to produce a wide-swath SAR image and compared with the conventional RDA processing case.

Key Words : Synthetic Aperture Radar, Radarsat-1, ScanSAR, SPECAN, Quick-Look.

요약 : 최근 세계적으로 고성능의 위성 지구관측 시스템의 운용이 증가되고 Chandrayaan이나 LRO처럼 달탐사 위성에서도 SAR 영상신호 자료의 활용도가 높아지면서 국내에서도 SAR 관련 연구에 대한 관심이 고조되고 있다. 하지만 대부분의 국내 SAR 관련 연구는 주로 영상의 후처리 및 활용에 관한 것이 주를 이루며, SAR 원시 데이터를 직접 처리하는 영상 형성에 관한 연구는 대부분 스트립맵(stripmap) 모드에 한정되어 있다. 2010년 발사를 앞두고 있는 국내 최초의 SAR 위성인 다목적위성 5호는 고해상도 모드와 ScanSAR 모드를 동시에 운용할 예정이며 이에 따라 해당 영상을 처리하고 분석하는데 많은 수요가 발생할 것으로 예상되고 있으나 현재까지 ScanSAR와 관련된 국내 연구는 매우 취약한 상태라고 볼 수 있다. 본 논문에서는 향후 발생하게 될 위성 SAR의 원시자료 처리 요구에 대응할 수 있는 ScanSAR 영상처리 기법을

접수일(2010년 1월 6일), 수정일(1차 : 2010년 4월 16일), 게재확정일(2010년 4월 23일).

† 교신저자: 송정환(jhsong79@kau.ac.kr)

소개하고 실제 위성 ScanSAR 원시자료에 적용하여 신호처리를 수행한 결과를 제시한다. 이를 위해 SPECAN 알고리즘을 사용한 SAR 원시데이터 처리 시스템을 개발하고 RADARSAT-1 위성의 ScanSAR 원시자료에 대한 Quick-look 신호처리를 수행하였다. 최종적으로 한반도 ScanSAR 영상처리 결과를 제시하고 기존 full aperture 데이터를 처리하는 방식과 비교하여 본 논문에서 제시된 방법의 장단점과 효율성에 대해 설명한다.

1. 서론

SAR는 수신된 광대역의 레이더 신호를 처리하여 영상 및 위상정보를 추출하는 원격탐사 센서로서 레이더의 조향 범위에 따라서 크게 스트립맵(Stripmap), 스팟라이트(Spotlight), 스캔(Scanning, ScanSAR) 모드로 동작한다. 스트립맵 모드는 가장 일반적인 SAR 센서 동작모드로서 플랫폼이 진행함에 따라 일정한 방향으로 레이더 신호를 송수신 하여 데이터를 획득하게 된다. 또한 합성 안테나의 길이에 대응되는 대역폭에 의해서 방위(azimuth) 방향의 해상도가 결정된다. 스팟라이트 모드는 플랫폼이 진행하면서 특정 점표적에 대하여 방위 방향으로 안테나를 조향하여 레이더 신호를 획득하게 된다. 이러한 경우 합성 안테나의 길이가 일반적인 스트립맵 모드에 비하여 길어지게 된다. 이렇게 획득된 신호 자료는 방위방향의 대역폭이 증가하게 되어 보다 높은 해상도의 영상을 얻을 수 있다.

일반적으로 SAR 원시자료는 주기적인 펄스의 송수신 과정을 거쳐서 획득하며, 이 데이터를 각각 거리(range)와 방위 방향으로 처리하여 목표 영역에 대해 연속적인 영상을 얻게 된다. 획득된 영상의 품질은 획득된 단위 표적당의 데이터 크기에 비례하며 스팟라이트 모드는 인위적 레이더 빔 조향을 통해 데이터 크기를 증대시켜 고해상도 영상을 얻는다. 이렇게 표적이 레이더 빔에 존재하는 시간을 인위적으로 확장시킨 결과 단위 면적당의 원시데이터 용량이 증가하고 full aperture 신호처리를 수행하는 시간이 길어진다. 반면 고해상도의 품질이 요구되지 않거나 데이터 전송 속도가 제한되는 경우, 안테나 빔 영역의 일부만을 활용하여 인위적으로 레이더 영상의 품질을 떨어뜨리기도 한다(W.T.K. Johnson, 1991). 안테나 빔의 일부 영역만을 활용할 경우 획득한 데이터 사이에 일정한 공백이 존재하여 단위 면적당의 정보량의 감소하고 영상 품질은 그만큼 저하된다. 영상 품질의 저하는 곧 영상 해상도가 낮아지는

결과로 이어지지만, 관측 영역에 대한 연속적인 영상을 형성하는 데는 문제가 없다. 이러한 특징을 바탕으로 데이터 획득을 하지 않는 시간 공백 동안에 다른 지역의 정보를 획득하여 넓은 지역의 정보를 한 번에 획득하는 SAR 시스템의 동작모드를 스캔 모드라고 한다. 스캔 모드에서 획득한 원시자료는 하나의 점표적에 대하여 전체 대역폭을 확보하지 못하게 되므로 상대적으로 낮은 해상도의 영상을 얻게 된다. 따라서 넓은 영역에 대하여 저해상도의 광역 영상을 획득하고자 할 때 유용하게 활용될 수 있다.

스캔 모드는 동일 지역에 재방문 주기를 줄여서 빔폭이 제한되는 위성 관측 시스템의 단점을 보완할 수 있다. 따라서 스캔 모드는 위성 시스템에서 주로 사용되며 1994년 SIR-C 임무에서 가장 먼저 성공적으로 사용된 이후(B.L. Honeycutt, 1994), 최근에 운용되는 대부분의 고성능 SAR 위성들은 대부분 스캔 모드를 지원하고 있다(Petar Stoyanov, *et al.*, 2007). 스캔 모드는 자연 재해 감시나 해양 탐사처럼 오랜 기간 지속적인 관측이 필요하며 저해상도에서 넓은 지역에 대한 정보를 단기간에 확보하는 것이 요구되는 응용분야에 주로 사용된다(Duk-jin Kim, 2009). 이러한 이유로 최근 개발되어 운용되고 있는 TecSAR나 TerraSAR와 같은 고성능의 SAR 위성에서도 고해상도 모드와 함께 스캔 모드가 동시에 운용되고 있다(Y. Sharay and U. Naftaly, 2006).

최근 세계적으로 고성능의 위성 지구관측 시스템의 운용이 증가되고 Chandrayaan이나 LRO처럼 달탐사 위성에서도 SAR 영상신호 자료의 활용도가 높아지면서 국내에서도 SAR 관련 연구에 대한 관심이 고조되고 있다. 하지만 대부분의 국내 SAR 관련 연구는 주로 영상의 후처리 및 활용에 관한 것이 주를 이루며, SAR 원시 자료를 직접 처리하는 영상 형성에 관한 연구는 대부분 스트립맵 모드(박정원 *et al.*, 2008) 또는 지상 SAR 자료에 한정되어 있다(이훈렬 *et al.*, 2007). 이는 그동안 국내에서 독자적으로 위성 SAR 원시자료를 운용하고

생성할 수 있는 기회가 부족했던 것에 기인한다고 볼 수 있다. 이러한 가운데 2010년 발사를 앞두고 있는 국내 최초의 SAR 위성인 다목적위성 5호는 고해상도 모드와 스캔 모드를 동시에 운용하여 방대한 SAR 원시자료를 생성하게 될 것이다. 이에 따라 해당 영상을 처리하고 분석하는데 많은 수요가 발생할 것으로 예상되고 있으나 현재까지 ScanSAR와 관련된 국내 연구는 매우 취약한 상태라고 볼 수 있다.

본 논문에서는 향후 발생하게 될 위성 ScanSAR 원시자료 처리 요구에 대응할 수 있는 영상처리 기법을 소개하고 이를 실제 위성 ScanSAR 원시자료에 적용하여 신호처리를 수행한 결과를 제시한다. 또 적용되는 영상처리 알고리즘과 ScanSAR 영상을 분석하여 기존의 스트랩맵 영상 처리기법과 구분되는 특징을 제시한다.

ScanSAR 데이터는 광범위한 영역에서 수집되어 원시데이터의 용량이 크게 증가하는 반면 해상도 품질은 제한된다. 따라서 기존의 RDA(Range Doppler Algorithm)나 CSA(Chirp Scaling Algorithm)와 같은 full aperture 데이터 처리 알고리즘을 변형하여 수행하는 것은 매우 비효율적이다.

SPECAN 알고리즘은 원래 저해상도의 SAR 영상을 신속하게 처리하기 위한 기법으로 처음 개발되었다(M. Sack, M. Ito and I.G.Cumming, 1985). 특히 SPECAN 알고리즘은 목표물에 대한 full aperture 관측 데이터를 요구하지 않기 때문에 ScanSAR처럼 부분적인 데이터 손실이 발생하는 운용 시나리오에 가장 적합한 방식으로 알려지게 되었다. 또한 계산 과정을 단순화하여 효율성을 높임으로써 고해상도 영상 추출 이전 단계에서 SAR 영상의 영역을 1차적으로 신속히 확인하거나 무인기 정찰 시스템에서 실시간으로 SAR 영상을 확보하는데 유용하게 활용되기도 한다. 기존 SRTM 시스템의 광대역 SAR 영상 역시 SPECAN에 기반한 알고리즘을 이용하여 생성된 바 있다(Hensley, S *et al.*, 2000). 또한 TerraSAR-X의 경우처럼 스팟라이트 모드에서 획득된 데이터를 신속하게 처리하여 저해상도 영상을 생성하는데 부분적으로 활용될 수 있다(H. Breit *et al.*, 2004).

본 논문에서는 SPECAN 알고리즘을 사용한 SAR 원시자료 처리 시스템을 개발하고, 이를 이용하여 RADARSAT-1 위성의 ScanSAR 원시자료에 대하여

신호처리를 수행한 결과를 보인다. 우선 ScanSAR 시스템의 데이터 획득 방식을 소개하고, SPECAN 알고리즘을 적용하여 Quick-look 신호처리를 수행하는 과정을 기술하였다. 그리고 점표적에 대한 신호처리를 수행한 후 동일한 조건에서 RDA 알고리즘으로 생성된 결과와 비교하였다. 제시된 알고리즘으로 구현된 SAR 프로세서의 성능 분석을 위해 1998년 한반도를 촬영한 Radarsat-1 ScanSAR 원시자료를 입력 데이터로 사용하여 생성된 영상 처리 결과를 보였다. 마지막으로 기존의 full aperture 데이터를 활용하는 영상처리 방식과 비교하여 본 논문에서 제시된 방법의 장단점과 효율성에 대해 설명하였다.

2. ScanSAR 데이터 획득 방식

스캔 모드를 사용하는 위성은 최소 두 개 이상의 빔을 사용하여 넓은 지역의 영상을 획득한다. Fig. 1은 두 개의 빔(beam)을 사용하는 스캔 모드에서의 데이터 획득 방식을 보여준다. 안테나는 주기적으로 서로 다른 swath에 대한 정보를 획득할 수 있도록 설계되어 있으며, 각각의 swath에 대한 데이터 획득은 특정한 시간 구간에서만 이루어진다. 각 시간 구간에서마다 연속적으로 레이다 펄스(pulse)의 송수신이 진행되는데 이러한 연속적 펄스의 집합을 버스트(burst)라 하고, 빔 조향에 따라 데이터 획득이 발생하지 않는 버스트 사이 구간을 데이터 공백(gap)이라 한다. 거리 방향의 빔조향에 따라 분리되는 구역을 'subswath'라 하며, 각 subswath에 대응되는 안테나 빔을 서브빔(subbeam)이라 한다.

Fig. 1과 같이 두 개의 빔을 사용한 경우, 우선 빔 1로 하나의 버스트 데이터를 획득한다. 빔 1에 의한 진행파(traveling pulse)들이 모두 수신되면, 안테나의 고도각(antenna elevation angle)을 바꾸어 빔 2로 다른 subswath의 버스트 데이터를 획득한다. 이러한 방법을 반복하여 획득된 데이터는 서로 다른 subswath에 대한 버스트들의 연속으로 이루어진다. 각각의 subswath에 대한 정보는 일반적인 스트랩맵 모드 데이터에서 일정한 시간 간격으로 데이터 공백이 존재하는 형태가 된다.

스캔 모드에서 획득된 원시자료는 버스트 데이터들을 획득한 시간 순서에 따라 주기적으로 나열한 형태를

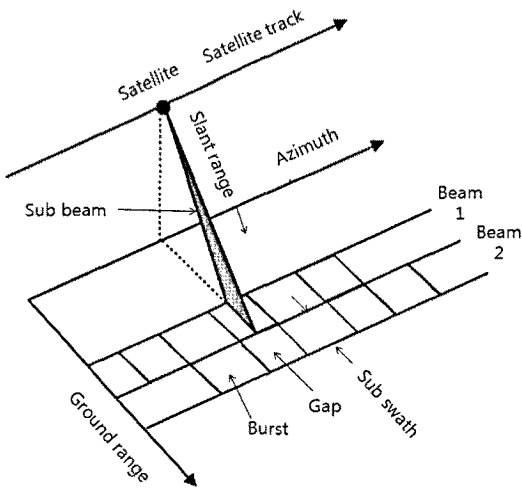


Fig. 1. Pattern of Data Collection in Two-beam ScanSAR Operation(I.G. Cumming *et al.*, 2005).

갖는다. 각 subswath와 연관된 데이터는 연속적으로 획득된 수신신호에서 버스트와 공백이 반복되며 서로 독립된 영역에서만 존재한다. 따라서 전체 수신 데이터 중 운용 시나리오상에서 사용된 subswath 수 만큼 데이터 영역을 분리하는 작업이 선행되어야 한다. 이후 각각 분리된 데이터에서 독립된 영상을 형성하여 서로 연결하면 넓은 지역의 광역영상(wide-swath)을 얻을 수 있게 된다.

ScanSAR 원시자료를 처리하는 방법은 다양하다. 우선 서론에서 언급한 바와 같이 기존의 RDA나 CSA 알고리즘을 직접 대입하는 방법이 가능하다. ScanSAR 자료는 full aperture 데이터가 아니기 때문에 기존 방법을 적용하기 위해서는 버스트 사이마다 발생하는 공백을 채워주는 작업을 수행하여야 한다. 또한 각 subswath 영상을 연속적으로 연결하기 위해 영상 stitch 및 mosaic을 수행해야 하고 확장된 영역에서의 안테나 빔패턴 보정도 매우 중요하게 된다. 이처럼 기존의 알고리즘을 적용할 경우 영상의 품질은 비교적 우수하지만, 빔 사이의 공백 구간까지 불필요하게 신호처리를 수행하게 되어 매우 비효율적이다. 특히, 스캔 모드는 고해상도가 아닌 중저해상도의 광역 영상획득을 목적으로 하기 때문에 최대 해상도 추출을 목적으로 하는 기존 방식은 활용성 측면에서 적합하지 않다.

SPECAN 알고리즘은 주로 방위방향의 위상정보를 근사화하여 사용하는데, subaperture만을 사용하는

ScanSAR에서는 근사화 과정에서의 오차범위가 줄어들고 해상도 요구조건이 완화되기 때문에 SAR 신호처리에 따른 영상품질 저하가 비교적 작다고 할 수 있다. 따라서 SPECAN을 적용한 후 저하된 품질을 개선할 수 있는 방법을 적용하는 것이 효과적이라고 할 수 있다.

3. SPECAN Quick-Look Processing

일반적으로 SPECAN은 방위방향 영상 처리 과정에만 적용된다. Fig. 2는 SPECAN 알고리즘을 이용한 Quick-look 신호처리 과정의 블록다이어그램을 보여 준다. 거리압축은 RDA나 CSA 등과 동일한 방식으로 정합필터(matched filter)를 사용하지만, 방위압축은 SPECAN 알고리즘만의 독특한 방식을 사용하게 된다. 우선 subaperture의 길이가 단축된 점을 이용하여 full RCMC(Range Cell Migration Correction)가 아닌 선형 RCMC를 적용하고 선형 주파수 변조 성분을 제거하기 위한 deramping을 수행한 결과에 FFT를 적용하여 방위압축을 수행하게 된다. 이 과정에서 선형 RCMC로 인한 영상의 품질저하가 발생하지만, 알고리즘이 단순해 지므로 계산 속도가 빠르다. 따라서 ScanSAR 뿐만 아니라 저해상도의 영상을 신속히 제시하는 Quick-look 영상 처리를 위해 활용될 수 있다.

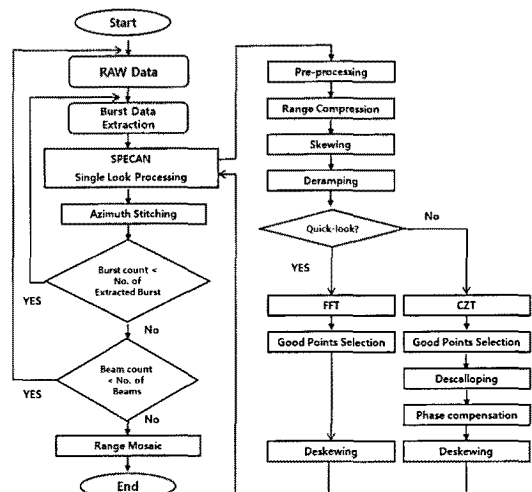


Fig. 2. Block Diagram of the ScanSAR Processor.

1) From convolution to SPECAN

복조과정을 거친 방위방향의 수신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_r(\eta) = \text{rect}\left(\frac{\eta}{T}\right)\exp\{-j\pi K_a \eta^2\} \quad (1)$$

여기서 η 는 방위 시간(azimuth time)을 나타내며, K_a 는 방위방향의 주파수 변조율(azimuth FM rate)을 나타낸다. 이 신호를 방위압축하기 위한 정합필터는 다음과 같다.

$$h(\eta) = \text{rect}\left(\frac{\eta}{T}\right)\exp\{j\pi K_a \eta^2\} \quad (2)$$

또한, 방위압축된 신호는 (1)식과 (2)식의 convolution 이 되며 다음과 같이 표현된다.

$$s(\eta) = \int_{-T/2}^{T/2} s_r(\eta - u)h(u)du \quad (3)$$

$$= \int_{\eta-T/2}^{\eta+T/2} s_r(u)h(\eta - u)du$$

(2)식을 (3)식에 대입하고 간단히 하면 다음과 같다.

$$s(\eta) = \exp\{j\pi K_a(\eta)^2\}$$

$$\times \int_{\eta-T/2}^{\eta+T/2} [s_r(u)\exp\{j\pi K_a u^2\}] \times \exp\{-j(2\pi K_a \eta)u\}du \quad (4)$$

식 (4)는 목표물의 위치에 해당하는 위상성분과 수신 신호에 적용되는 deramping 성분, 그리고 푸리에 변환(Fourier transform)으로 이루어진 것을 알 수 있다. 즉, 방위 시간에 대하여 deramping과 FFT를 수행하면 방위압축이 실행된다.

방위시간에 대한 deramping 과정은 Fig. 3에 나타내었다. Deramping 함수는 방위 시간에 대하여 기준 시간을 설정하여 사용하며, 주로 원시자료의 중심을 원점으로 설정한다. Fig. 3(a)는 deramping 이전의 방위 신호의 특성을 나타내며, Fig. 3(b)는 PRF(pulse repetition frequency)에 의해서 aliasing이 발생한 deramping 함수를 나타낸다. 방위 방향의 신호에 deramping 함수를 적용하면 Fig. 3(c)와 같이 되는데, 여기서 다시 PRF에 의한 aliasing이 발생하므로 결과적으로 Fig. 3(d)와 같은 형태가 된다. Fig. 3(d)에서 방위방향의 신호는 시간에 대하여 동일한 주파수 성분을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 즉, deramping 과정을 수행하면 방위방향의 신호는 단일 주파수 성분을 갖는

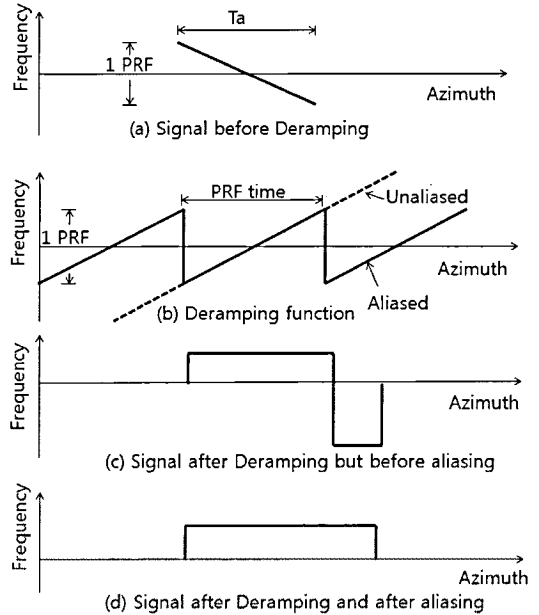


Fig. 3. Frequency vs. Time characteristics of a single target, before and after deramping(I. G. Cumming *et al.*, 2005).

정현파 특성을 갖게 된다. 정현파 신호는 주파수 영역에서 임펄스(impulse) 함수의 형태가 되므로, FFT를 취하면 점표적으로 표현되는 방위압축 결과를 얻게 된다.

Deramping 과정을 수행한 후에 zero-Doppler 시간이 η_d 인 표적이 갖는 정현파 주파수는 다음과 같이 나타낼 수 있으며, FFT를 수행한 후에 각각의 표적은 자신의 정현파 주파수에 해당하는 지점에 위치하게 된다.

$$f_{Deramped} = f_{\eta_c} + K_a(\eta_d - \eta_{ref0}) \quad (5)$$

여기서 f_{η_c} 는 표적의 도플러 중심 주파수를 나타내며, η_{ref0} 는 기준시간의 중심을 나타낸다.

2) 방위방향(Azimuth) FFT

SPECAN 알고리즘을 이용하여 연속적인 영상을 획득하기 위해서는 방위방향 샘플에서 FFT를 취하는 위치와 FFT의 크기를 선택해야 한다. 샘플링 된 데이터 중 방위방향 FFT에 적용되는 구간의 데이터들을 'good-points' 라고 한다. 스트립맵 모드에서는 azimuth aperture 내에서 임의의 FFT 크기를 선택할 수 있는 반면, 스캔 모드에서는 위성의 운용 시나리오(빔폭, PRF, subswath 수)와 FFT를 적용하는 위치에 따라 FFT 크기가 제한된다.

FFT를 취하는 샘플수(N_{fft})와 방위 방향에서의 표적 노출 시간(T_a), PRF 그리고 방위방향의 주파수 변조율(K_a)이 주어지면, good-point들이 차지하는 주파수 폭은 $(T_a - N_{fft}/PRF)K_a$ 로 주어진다. 따라서 각각의 FFT에서 얻어지는 good-point들의 크기(N_{good})는 다음과 같이 주어진다.

$$N_{good} = N_{fft} \left(T_a - \frac{N_{fft}}{PRF} \right) \frac{K_a}{PRF} \quad (6)$$

각각의 FFT로 취해진 N_{good} 개의 데이터가 정해지면 연속적인 영상을 획득하기 위한 다음 FFT의 위치는 $N_{FFTDelay}$ 로 주어지며 이는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} N_{FFTDelay} &= N_{good} \frac{PRF^2}{N_{fft}K_a} \\ &= T_a PRF - N_{fft} \end{aligned} \quad (7)$$

위 식에서 주어진 $N_{FFTDelay}$ 에서 각각의 FFT 처리 결과를 보면 이전 FFT의 마지막 good-point와 다음 FFT의 처음 good-point는 동일한 목표물로 설정되어 있다. 즉, 각각의 FFT에서 ($N_{good}-1$)개의 샘플을 획득하게 되면 연속적인 영상을 형성할 수 있다. 위에서 언급했듯이 스캔 모드에서 N_{fft} 와 $N_{FFTDelay}$ 는 SAR 시스템의 운용시나리오에 따라 결정된다. Good-points의 추출은 각 서브빔의 PRF와 버스트를 구성하는 데이터 크기에 의해 계산된 T_a 값에 영향을 받고 이는 제작된 영상의 품질을 결정하게 된다.

한편, 목표물의 위치에 해당하는 위상성분은 멀티룩(Multi-look) 영상을 형성할 때는 사용되지 않지만, SLC(Single Look Complex) 영상을 생성하기 위한 위상보정(phase compensation)에서 활용될 수 있다.

3) Time Domain Linear RCMC

SPECAN에서 RCMC는 azimuth 방향의 위상 성분 중 선형부분만을 수정하며 skewing과 deskewing 과정이 포함되어 있다. Zero-Doppler 시간이 η_a 인 목표물에 대한 선형 RCM 성분은 다음과 같다.

$$R(\eta) = -V_r \sin \theta_r (\eta - \eta_a) \quad (8)$$

여기서 V_r 과 θ_r 은 위성의 유효 속도(effective velocity)와 유효 스퀘인트 각(effective squint angle)을 나타낸다. 선형 RCMC는 위상이동(phase-shift)이나 보간법(interpolation)을 이용하여 수행할 수 있지만,

중저해상도의 Quick-look 신호처리에서는 거리 이동(range-shift)만을 수행해도 충분하다.

선형 RCMC를 수행하면 거리 압축된 신호들은 cross-range 영역으로 이동하게 되며, 방위 압축을 수행하면 선형 RCMC로 인하여 같은 range-gate에 위치하던 목표물들이 서로 다른 range-gate에 이동한다. 이때 발생하는 오차를 보상하기 위해 방위압축이 수행된 영상에서 선형 RCM 만큼의 위치 이동을 수행하여 deskewing 과정을 완료한다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서 제시한 SPECAN 알고리즘을 사용하여 개발된 SAR Quick-look 프로세서의 성능을 검증하기 위해서 가상의 점표적에 대한 위성 SAR 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 실제 위성으로부터 수신된 스트립 모드의 Radarsat-1 원시(RAW)자료에 대하여 RDA와 SPECAN을 사용하여 신호처리를 수행한 후 각각의 경우에 대한 영상 품질을 확인하여 성능 비교를 수행하였다. 최종적으로 SAR 프로세서를 구현하여 스캔 모드에서 획득한 Radarsat-1 원시자료에 대한 신호처리 결과를 제시하였다.

1) 점표적을 이용한 시뮬레이션

스캔(버스트) 모드 데이터에 대한 SPECAN 알고리즘의 방위 압축 특성을 분석하기 위해, 우선 점표적에 대하여 거리압축과 RCMC가 수행된 위성 SAR 원시 자료를 생성하였다. 이 과정에서 위성은 동일한 빔을 사용하여 스트립맵 모드와 스캔 모드로 각각 운용된다고 가정하였다.

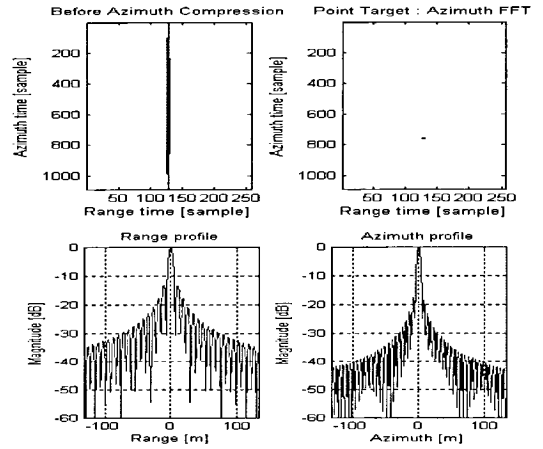
시뮬레이션에 사용된 SAR 파라미터들은 Table 1과 같다. 유효 스퀘인트 각도(θ_r)는 2.5° 를 사용하였으며, 이에 따라 도플러 중심 주파수(f_{cr}), 방위 방향의 주파수 변조율(K_a), 그리고 표적 노출 시간(T_a)이 Table 1과 같이 결정된다. 또한, 스캔 모드에서 운용되는 원시자료는 2-look을 지원하는 것으로 가정하였으며, 방위 방향 해상도(ρ_a) 50m에 해당하는 버스트 길이(N_{burst})를 설정하였다. 신호처리에 사용되는 FFT 길이(N_{FFT}) 및 전체 영상에 포함되는 good-points의 수(N_{good}) 역시 설정된

Table 1. Representative satellite C-band SAR parameters.

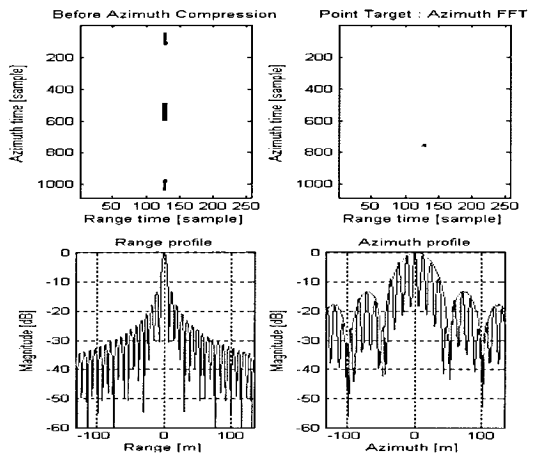
파라미터	기호	값	단위
중심 주파수	f_0	5.3	GHz
안테나 길이	L_a	10	m
송신펄스 길이	T_r	40	μs
거리 FM율	K_r	0.5	MHz/ μs
거리 샘플링율	F_r	24	MHz
PRF	PRF	1700	Hz
경사거리	$R(\eta_c)$	850	km
유효플랫폼 이동속도	V_r	7100	m/s
스윕트 각도	θ_r	2.5	degree
도플러 중심주파수	f_{η_c}	10.95	KHz
방위 FM율	K_a	2093	Hz/s
표적노출 시간	T_a	0.6389	sec
버스트 정보	기호	값	단위
버스트 길이	N_{burst}	115	sample
FFT 길이	N_{FFT}	128	sample
Good-points 수	N_{good}	89	sample
방위 해상도	ρ_a	50	m

버스트 길이에 따라 결정된다. 점표적에서 생성된 원시 자료에 대하여 각각 RDA와 SPECAN 알고리즘으로 거리 및 방위 압축을 수행한 결과를 Fig. 4에서 보이고 비교하였다. Fig. 4(a)는 스트리프맵 모드의 경우에 RDA를 적용하여 점표적에 대한 신호압축을 수행한 결과를 보여주며, Fig. 4(b)는 스캔 모드의 원시 신호에 대해 RDA를 이용하여 SAR 신호처리를 수행한 결과를 보인다. RCMC가 동일하게 수행되었기 때문에 거리방향 신호처리 결과는 동일하나 ScanSAR에서는 방위방향 해상도가 저하됨을 알 수 있으며, 데이터 공백에 의하여 방위 방향의 모듈레이션이 발생함을 확인할 수 있다. 한편, Fig. 4(b)의 포락선은 중앙에 위치하는 하나의 버스트 데이터에 대한 RDA 신호처리 결과이다. Fig. 4(c)는 스캔 모드의 원시 신호를 SPECAN 알고리즘을 이용하여 신호압축을 수행한 결과이며, 전체 영상에 포함되는 good-points 추출 이전의 영상이다. SPECAN 알고리즘은 버스트 데이터만을 이용하여 deramping과 FFT를 수행하므로 방위 방향의 샘플 수가 FFT 길이만큼 줄어들게 된다.

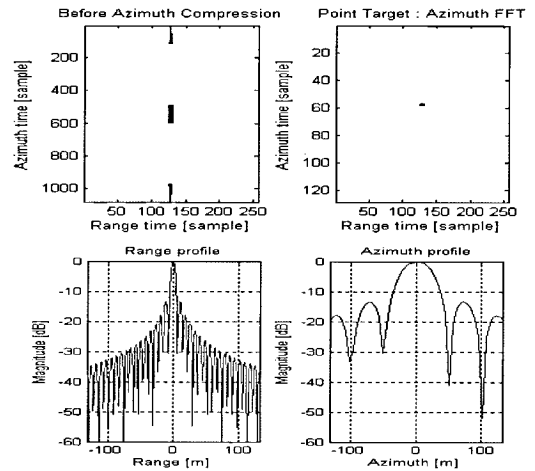
Table 2는 방위방향의 신호에 대하여 IRW(Impulse Response Width), PSLR(Peak SideLobe Ratio) 및 ISLR(Integrated SideLobe Ratio)을 측정된 결과와



(a) RDA Processing of the Stripmap-Mode Data



(b) RDA Processing of the Burst-Mode Data



(c) SPECAN Processing of the Burst-Mode Data

Fig. 4. A single point target SAR simulation.

Table 2. Quality analysis of SAR simulation methods for a single point target

Data type / Processing Algorithm	Azimuth Profile			IRW (Ideal) [m]
	IRW [m]	PSLR [dB]	ISLR [dB]	
Strip-mode data / Full-aperture Processing	5.09267	-17.5067	-15.4423	5
Burst data / Full-aperture Processing	50.0566	-13.1554	-11.7647	50
Burst data / SPECAN Processing	51.2099	-14.1425	-12.0648	50

방위방향에 대한 IRW 계산 값을 나타낸다.

시뮬레이션 과정에서 거리 및 방위방향으로 추가적인 윈도우 함수를 적용하지 않았지만, 스트립 모드 데이터에 대한 PSLR값은 안테나 패턴이 윈도우 함수로 작용하게 되어 측정값이 sinc 함수의 -13dB 보다 낮게 나타나게 된다. 반면 버스트 데이터인 경우 방위방향의 주엽 부분의 신호만을 이용하므로 PSLR의 감소가 매우 작은 것을 확인할 수 있다. 시뮬레이션 결과는 안테나 패턴에 의한 영향을 제외하면 이론적인 값과 유사함을

확인 할 수 있다.

Fig. 5는 여러 개의 점표적을 이용한 SPECAN Quick-look 신호처리 결과를 보여준다. Fig. 5(a), (b)는 원시 신호에 대하여 deramping과 azimuth FFT를 수행한 결과로서 각각의 표적이 갖는 정현파 주파수의 기준 위치에서 good-points를 추출한 결과를 보여준다. 버스트 데이터에 대하여 FFT를 취하는 샘플 수가 N_{fft} 인 경우 식 (6)과 같이 good-points의 수(N_{good})가 정해지지만, 실제 신호처리에서는 FFT의 효율성을 위

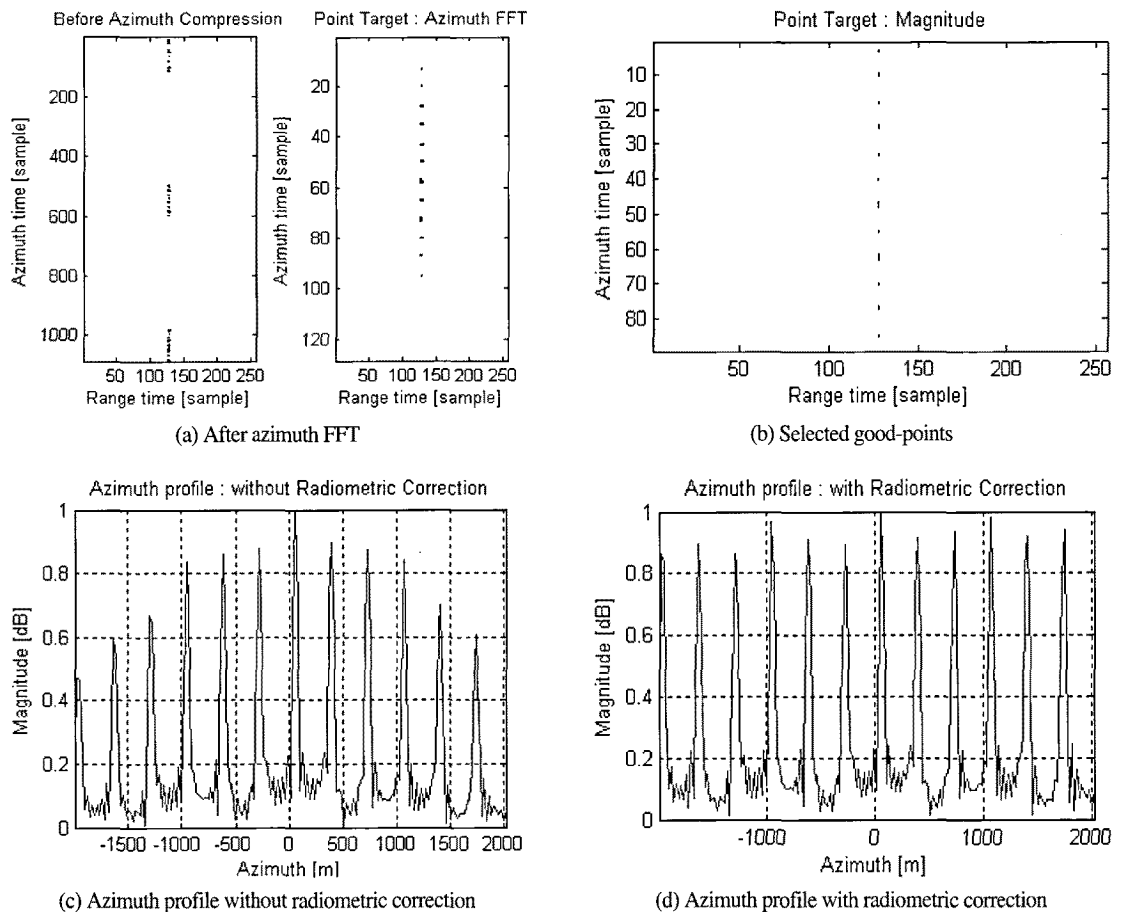


Fig. 5. Simulations for Multiple Point Targets.

하여 데이터에 영을 채워(Zero-padding)넣어 FFT 샘플 수($N_{FFT-Length}$)를 2^N 개로 취하게 된다. 따라서 샘플 간격은 $(PRF/N_{FFT-Length})/K_d$ 로 주어지며 good-points(N_{good})는 식 (9)와 같이 취하게 된다.

$$N_{good} = N_{FFT-Length} \left(T_a - \frac{N_{fft}}{PRF} \right) \frac{K_a}{PRF} \quad (9)$$

한편, Fig. 5(c)는 방사 보정(Radiometric correction)을 수행하기 전의 방위 방향의 신호 특성을 보여 준다. 위와 같이 추출된 good-point들은 Fig. 5(d)와 같이 방사보정을 수행한 후에 연결(stitching)하여 연속적인 영상을 확보하게 된다.

방위 방향의 주파수 변조율은 거리에 따라 감소하는 경향을 보이므로 동일한 PRF에 대하여 방위방향의 샘플 간격은 증가하게 된다. 따라서 FFT 이후에 동일한 샘플 크기를 취하였을 경우 전체 영상에 포함되는 영역이 거리에 따라서 증가하게 되며, 이러한 현상을 'Fan-shaped 왜곡(distortion)'이라 한다(I.G. Cumming *et al.*, 2005). 방위방향의 샘플 간격을 일치시키기 위하여 good points 추출 과정에서 보간법을 사용하여 수행할 수도 있지만 이는 매우 비효율적인 방법이다. 반면 SPECAN 알고리즘의 FFT 연산을 CZT(Chirp Z-Transform)모듈로 대체하면, 각각의 버스트에서 전체 영상에 포함되는 샘플 수와 방위방향의 샘플 간격을 신속하고 효율적으로 일치시킬 수 있다(R. Lanari *et al.*, 1998).

Fig. 6에 FFT와 CZT를 사용하는 각각의 경우에 대하여 하나의 버스트 데이터를 처리하는데 소요되는 평

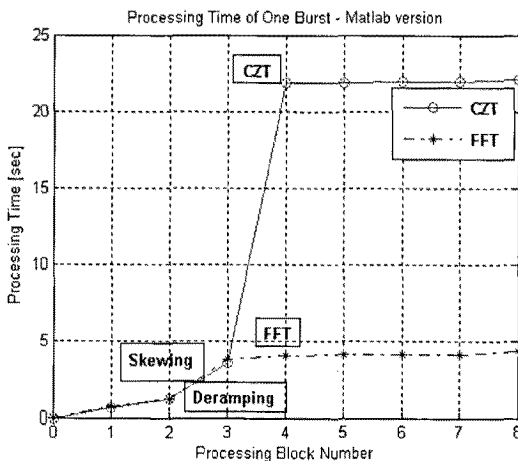


Fig. 6. Processing Time of the Burst Data in Matlab Program.

균 시간을 나타내었다. SPECAN single-look 프로세서의 거리압축 부터 deskewing까지 각 처리 단계마다 소요되는 시간을 측정하여 그래프로 나타내었으며, 대부분의 시간 소요가 deramping과 CZT과정에서 소요됨을 확인할 수 있다. 특히 CZT는 scaling kernel 생성과 두 번의 FFT, 한번의 IFFT가 추가로 수행되어 대부분의 연산시간을 소모하게 된다. 이러한 시간소요는 고 해상도 영상 추출 이전 단계에서 SAR 영상을 1차적으로 신속히 확인하기 위한 Quick-look 처리에는 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서 구현된 Quick-look 프로세서는 fan-shaped 왜곡 현상을 무시한 원래의 FFT를 그대로 사용하였다.

2) Radarsat-1 원시자료를 이용한 Quick-look 신호 처리

Radarsat-1 위성으로부터 수신된 원시자료에서 영상을 획득하기 위해서는 데이터를 분리하는 과정과 도플러 정보를 추출하는 과정이 선행되어야 한다. CEOS RAW 제품에 대한 데이터 분리과정에서 빔 스위칭 시간 동안에 획득된 신호자료(invalid pulse)들은 제거되며, 각 subswath 별로 유효한 버스트 신호자료만을 저장하여 사용한다.

SPECAN 기반의 알고리즘을 사용하여 신호처리를 수행하는 과정에서 방위방향의 신호 연속성을 확보하려면 매우 정교한 도플러 중심 주파수 값을 확보해야 한다. 스트립 모드에서는 비교적 정확한 결과를 제공하는 일반적인 도플러 중심 주파수 추정 기법도 대상 영역이 크게 증가하는 스캔 모드 데이터에 대한 처리에 적용되면 성능이 크게 저하된다. 따라서 스캔 모드로 획득한 데이터의 신호처리에서는 별도의 적합한 도플러 추정 기법을 선택해서 사용해야 한다. 본 논문에서는 스캔 모드에 대한 도플러 정보를 추정하기 위하여 기하모델 및 기저대역의 중심 주파수를 이용하는 방식(고보연 *et al.*, 2003)을 사용하였으며, 추가적으로 유효 자세정보를 확보하여 기하학적 모델을 재구성하였다. 이러한 방식으로 신호자료에서 확보한 도플러 surface와 기하모델에서 확보한 도플러 surface 사이에서 최대 오차 50Hz이내로 추정하여 사용하였다.

우선 SPECAN Quick-look 프로세서의 성능 분석을 위하여 스트립맵 모드에서 획득한 데이터에 대한 신호

처리를 수행하였다. 이를 통한 검증 후 ScanSAR 원시 자료에 대한 Quick-look 영상형성 결과를 제시하였다. 실험에 사용된 Radarsat-1 Fine 빔모드와 SCNB 모드에서 획득한 RAW 제품에 대한 정보는 Table 3에 나타내었다.

Radarsat-1 Fine 빔 모드에 대한 Quick-look 신호처리 결과는 Fig. 7에서 나타내었다. 스트립맵 모드에 대한 Quick-look 신호처리는 임의의 FFT 길이를 사용할 수 있으며 전체 신호자료에서 일부분의 데이터만을 사용하여 영상을 형성한다. 형성 결과에 대한 확대 영상을 Fig. 8(a)에 나타냈다. 영상 품질의 비교를 위하여 4096×4096개의 데이터를 취한 후, 16개의 sinc-kernel을 사용하는 RDA 프로세서를 이용하여 신호처리를 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 8(b)에 제시하였다.

윈도우 기반(XP, Core2 Duo, RAM 2GB)의 Visual C++로 구현된 프로세서에서 FFT 개수를 128로 설정한 경우 전체 영상(19438x9288)에 대한 Quick-look 신호처리에 220sec가 소요되는 반면, RDA를 사용할 경우 소규모의 블록(4096×4096) 신호처리에만 160sec가

Table 3. Radarsat-1 RAW Products for Test

모 드	Fine Beam 2	ScanSAR Narrow B		
방위방향 데이터 길이	19438	68679		
거리방향 데이터 길이	9288	W2	S5	S6
		7416	6708	7152
지 역	밴쿠버/캐나다	중부지방/한국		
궤도 특성	# 34522 Ascending	# 14625 Descending		
데이터 획득 날짜	2002/06/16	1998/08/23		

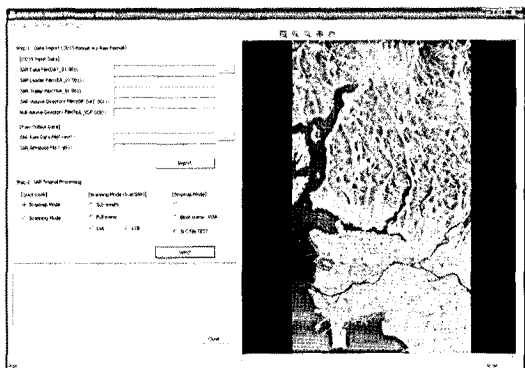


Fig. 7. A Quick-look processed strip-mode SAR image obtained from the developed SPECAN processor.



(a) SPECAN Quicklook



(b) RDA

Fig. 8. Image Comparison with RDA Processed Result.

소요되었다. 이처럼 데이터처리량의 현격한 차이에도 불구하고 영상 처리 속도는 서로 비슷하게 측정되었다. 이를 통해 Quick-look 신호처리는 적절히 축소된 해상도를 갖는 전체 영상을 매우 빠른 시간에 처리할 수 있고, 출력된 영상은 중저해상도로서 충분한 품질을 유지하고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 9는 ScanSAR 원시자료에 대한 Quick-look 영상형성 결과이며, Fig. 10은 새만금 방조제 지역에 대한 확대 영상이다. SPECAN Quick-look 프로세서는 모든 신호처리가 메모리에서 진행되도록 설계되어 있으며, 중부지역에 대한 ScanSAR 데이터는 하나의 subswath에서 240개의 버스트 데이터가 추출되었고, 총 720개의 데이터를 처리하여 Quick-look 영상을 형

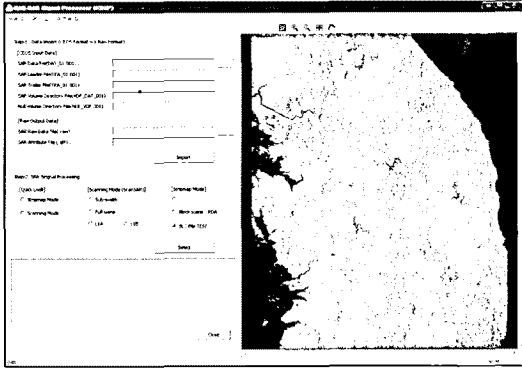


Fig. 9. ScanSAR Quick-look processed image using the SPECAN processor.

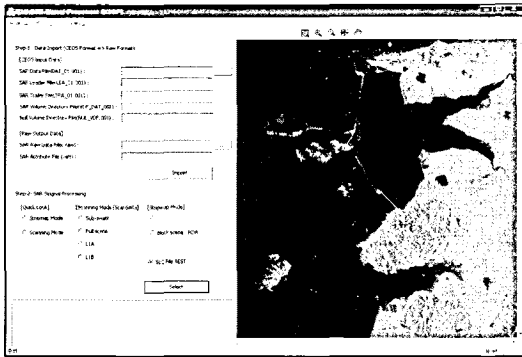


Fig. 10. Zoomed image of the ScanSAR quick-look processing result in Fig. 9.

성하였다. 이 과정 처리 시간은 500sec로 계산되었다.

Quick-look 프로세서는 deramping 이후에 FFT를 사용하여 영상을 형성하므로 수 분 이내에 영상을 확보하는 반면, 도플러 정보의 오차로 인해 방위방향의 불연속이 발생하게 된다. 하지만 확대 영상인 Fig. 10과 같이 전체 영상을 신속하게 확인하기 위한 Quick-look 신호처리에는 충분한 결과를 제시한다.

5. 결론

본 논문에서는 스캔 모드에서 획득된 Radarsat-1 원시 자료에 대하여 SPECAN 알고리즘을 이용한 Quick-look 신호처리 및 성능 분석을 수행하였다. 본 논문에서 구현된 프로세서를 사용하여 Radarsat-1에서 획득된 ScanSAR 원시 자료에 대한 신호 처리를 수행한 결과를 보였으며 기존 RDA 영상 처리 방식과 비교하여 성

능을 비교 분석하였다.

SPECAN 알고리즘은 선형 RCMC를 사용하기 때문에 Quick-look 또는 실시간 처리(real-time processing)를 이용한 브라우징 기능에 적합한 알고리즘이라고 할 수 있다. 따라서 보다 높은 해상도의 영상 또는 위상 정보를 반영하는 SLC 제품을 생성하기 위해서는 추가적인 신호 처리 알고리즘이 필요하다. 이를 위해 현재 CZT를 사용하는 Modified SPECAN 알고리즘을 이용하여 ScanSAR 프로세서를 구현하여 검증을 진행하는 중이다. 향후 CSA와 SPECAN 알고리즘이 결합된 ECSA(Extended Chirp Scaling Algorithm)를 이용한 ScanSAR 신호처리를 수행하게 되면 신호처리뿐만 아니라 영상 품질 개선 알고리즘이 포함된 통합 SAR 프로세서를 개발할 수 있을 것이다.

ScanSAR 모드는 스트립맵 모드, 스팟라이트 모드와 함께 매우 중요한 영상획득 방식이며, 본 논문에서 구현된 알고리즘은 향후 국내의 위성 SAR 신호 처리 및 영상처리 시스템 구현 관련 연구에 많은 기여가 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문에 사용된 Radarsat-1 ScanSAR 원시 자료는 (주)썬트랙아이에서 제공받았으며, 이에 감사의 말을 드립니다.

참고문헌

- 고보연, 나원상, 이용웅, 2003. 신호자료 및 궤도정보를 이용한 Radarsat-1 도플러 정보 추출기법 연구, Korean Journal of Remote Sensing, 19(6): 421-430.
- 박정원, 정형섭, 원중선, 2008. SAR 영상의 Azimuth 차분을 이용한 움직이는 물체의 속도 측정 방법, Korean Journal of Remote Sensing, 24(2): 91-98.
- 이훈렬, 조성준, 성낙훈, 김정호, 2007. GB-SAR의 개발(II) : 영상화기법, Korean Journal of

- Remote Sensing, 23(4): 247-256.
- W. T. K. Johnson, 1991. Magellan Imaging Radar Mission to Venus. Proceedings of the IEEE, 79(6): 777-790, June 1991.
- B. L. Honeycutt, 1989. Spaceborne Imaging Radar-C Instrument, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 27(2): 164-169.
- Petar Stoyanov, Venzislav Markov, Mihail Mihov, Georgi Kiprov, 2007, Space based radiolocation systems - present state and perspectives for development, pp. 111-115, ELECTRONICS'' 2007.
- Duk-jin Kim, 2009, Wind Retrieval from X-band SAR Image Using Numerical Ocean Scattering Model, Korean Journal of Remote Sensing, 25(3): 243-253.
- Y. Sharay and U. Naftaly, 2006, TECSAR: design considerations and programme status, IEE Proc.-Radar Sonar Navig., 153(2): 117-121.
- M. Sack, M. Ito and I. G. Cumming, 1985, Application of Efficient Linear FM Matchd Filtering Algorithms to SAR Processing, IEEE Proc-F, 132(1): 45-57.
- S. Hensley, P. Rosen, E. Gurrola, 2000, The SRTM topographic mapping processor, Proc. IGARSS 2000. IEEE 2000 Int., 3: 1168-1170.
- Ian G. Cumming and Frank H. Wong, 2005, Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data - Algorithms and Implementation. Artech House.
- H. Breit, E. Boerner, J. Mittermayer, 2004, The TerraSAR-X Multi-Mode SAR Processor-Algorithms and Design, Proc. of EUSAR, conf., pp.501-503.
- R. Lanari, S. Hensley, and P. A. Rosen, 1998. Chirp-Z Transform Based SPECAN Approach for Phase Preserving ScanSAR Image Generation. IEE Proc. Radar, Sonar and Navigation, 145(5): 254-261.