

초청논문

원격 탐사용 레이더의 연구개발 동향

金榮洙, 全珉

浦項工科大学校 電子電氣工學科

I. 서론

1950년대 이래로 주로 군에서 발달되어 온 원격 탐사용 레이더에는 여러 종류가 있지만 주로 SLAR(Sidelooking Airborne Radar), SAR(Synthetic Aperture Radar), Scatterometer, Altimeter 등이 많이 사용된다.

SLAR와 SAR는 주로 넓은 지역의 레이더 영상을 얻는데 사용되기 때문에 영상 레이더라고 일반적으로 분류된다. SLAR에서는 안테나 빔폭에 의해 분해능이 결정되기 때문에 원거리(특히 인공위성)에서는 사용하기 곤란하다. SAR는 거대한 안테나를 시간적으로 합성해서 분해능을 향상시키는 방식이므로 기본적으로 방대한 양의 데이터를 처리해야 하는데, 분해능을 좋게 할수록 필요한 신호처리의 양은 기하급수적으로 증가한다. SAR의 기본 구성품은 일반적인 레이더와 크게 다를 바 없으며, 단지 아주 작은 분해능을 실시간으로 요구할 때에는 막대한 계산량으로 인한 신호처리에서의 병목현상을 적절히 처리하는 것이 중요한 연구 테마가 되고 있다.

Scatterometer는 표적으로부터의 전파산란 계수를 정확히 측정할 수 있는 시스템인데, 해양의 풍속을 측정하는데 사용되고, 또한 레이더 영상으로부터 표적의 제반 특성을 추출하는데 필요한 inversion 알고리즘을 개발하는 데에도 사용된다. Altimeter는 센서에서 표적까지의 수직거리를 측정하

는 시스템인데 해양 표면의 topography 연구에 주로 사용된다.

실질적으로 원격탐사용 레이더는 지질탐사, 홍수탐사, 토양의 수분조사, 강설량 및 분포조사, 농작물의 분포 및 경계조사, 삼림감시, 산불피해조사, 대륙이용도 조사, 빙산 및 해빙의 이동 및 두께 추정, 기름에 의한 해양 오염 조사, 풍속측정, 해류측정 등등 많은 분야에 사용되고 있으며, 화성, 금성 등의 우주탐사에도 활발히 적용되고 있다.

본 원고에서는 제II장에서 SAR에 대한 해외의 연구개발동향을 간단히 살펴보고, 제III장에서는 Interferometric SAR에 대해 소개했으며, 제IV장에서는 본 대학에서 제작중인 차량탐재형 Scatterometer/SAR에 대해 기술하고 간단한 실험결과를 보였다.

II. 해외의 연구개발 동향

1. 현황 및 전망

인공위성 탐재용 영상 레이더(SAR)가 처음 사용된 것은 비교적 최근인 1978년으로서 미국의 해양탐사 위성인 SEASAT에서 였고, 그 후 스페이스 셔틀 탐재용 레이더인 SIR-A,-B,-C 및 유럽의 ERS-1,-2, 일본의 JERS-1, 캐나다의 Radarsat 등이 개발, 운영되고 있다. 이들의 표적분해능(resolution)은 주로 수십 미터 정도이나, 항공기 탐재용의 경우 30 cm의 분해능을 가진 것들도 연구, 운영

〈표 1〉 위성 SAR 프로그램.

PROGRAM	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
• CURRENT MISSIONS									
- ERS-1 (ESA)	■	■							
- JERS-1 (JAPAN)	■	■	■						
- ERS-2 (ESA)	■	■	■	■					
- RADARSAT (CANADA)		■	■	■	■	■			
• APPROVED MISSIONS									
- RADARSAT 2 (CANADA)						▨	▨	▨	▨
- ENVISAT ASAR (ESA)						▨	▨	▨	▨
- TRAVERS / PAIRODA (RUSSIA)		▨	▨						
- SRTM (US)						■ (May 2000)			
• MISSIONS UNDER STUDY									
- RADARSAT-3 (CANADA)				(1998?)					
- OKEAN FOLLOW-ON (RUSSIA)									(2005?)

되고 있다. 〈표 1〉에서는 현재 운영중이거나 승인 또는 고려중인 민간용 위성 프로그램을 보여준다^[1].

최근 미국에서 구성된 (1995년 1월) Interagency Ad Hoc Working Group 회의에서는 SAR의 실질적인 효용성을 다음과 같이 정리한 바 있다.

- 지도제작
- 자원감시 및 관리
- 공해 및 폐기물 관리
- 자연재해완화
- 해양 및 얼음 감시
- 법집행 및 정찰

NASA의 재정적인 어려움에도 불구하고, 상기 그룹에서는 위성탑재용 민간 SAR를 미국이 독자적으로 개발하거나, 또는 국제적인 SAR 프로그램의 일환으로 Interferometric SAR를 개발할 것을 추천하였다. 또한 SEASAT 발사 이후 20년 가까이 지난 지금에도 SAR는 아직 발전이 필요한 분야로 분류하였으며, 초고주파와 표면과의 상호작용을 이

해하는데는 연구가 더 필요하며, 주파수나 편파 등을 다양화한 Multiparameter SAR와 interferometric SAR 기술들은 SAR의 능력을 더욱 향상시킬 것이고, 데이터의 지속적인 확보는 사용자의 입장에서 매우 중요하며 상기 〈표 1〉에서 보이는 계획들은 이를 가능하게 할 것이라고 결론을 냈다.

2. SAR 신호처리

초기의 신호처리 장치는 그 방대한 계산량으로 인하여 광학적인 방식이 80년대 초반까지 사용되었고, 그 후 디지털 기술의 급격한 발달로 완전 디지털 신호처리가 가능하게 되었다. 오늘날은 수많은 상업용 workstation, multi-processor 시스템, 슈퍼컴퓨터 및 massively parallel 컴퓨터 중에서 선택도 가능하며 적당한 가격의 소프트웨어들이 많은 항공기용 또는 인공위성용 SAR 데이터를 처리할 수 있다. 소프트웨어들은 신호의 세기, 위상, 기하

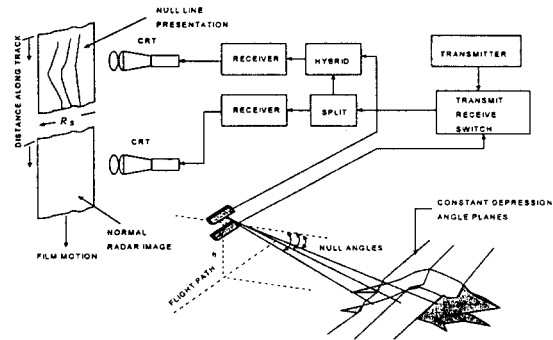
학적 보상 및 거리이동 보상을 할 수 있고 자동초점 (autofocusing) 기능도 보유하고 있다.

디지털 프로세서가 80년대 및 90년대에 전통적인 광학처리 장치들을 대체하였듯이 광학분야도 발전하여 acousto-optic, piezoelectric 변조기 및 초대형 영상 collection plane들을 가능하게 하였다. 작고, 전력 소모가 적고, 아주 빠른 광학 컴퓨터를 사용하는 것이 미래의 SAR 시스템 설계에는 고려되어야 할 것이며, 디지털 및 광학시스템의 적절한 배합(hybrid system)이 이루어질 것으로 보인다. 향후 10년 내에는 고성능 on-board 프로세서가 지상의 사용자에게 직접 압축된 데이터를 보낼 수 있을 것으로 기대된다.

III. Interferometric SAR

SAR는 지표면 또는 해수면에서 반사된 레이더 신호의 크기를 2차원적인 사진과 같은 영상으로 제공한다. 이 때 제공되는 영상의 정보는 레이더에 의하여 측정되고 신호처리를 거친 후 최종적으로 복소수 신호의 크기만을 나타내므로써, 위상의 정보를 상실한다. 이러한 위상의 정보를 이용하여 3차원적인 영상, 즉 2차원적인 영상에 반사된 표적의 고도를 더한 영상을 얻게 해주는 시스템이 interferometer이며 SAR 시스템과 연계하였을 때 interferometric SAR라고 한다.

II장에서 잠시 언급되었듯이 이 interferometric SAR는 최근 지대한 관심을 끌고 있는 것으로서, 현재 사용되고 있는 인공위성용 시스템들이 분간할 수 있는 표적 고도의 정확도는 약 3 cm 정도이고 곧 1 cm 정도까지 올리려는 노력이 진행되고 있다. 이러한 미세한 고도정보는 지진이나 화산폭발을 예측하는데 사용될 수 있다고 하는데, 지구표면의 아주 느린(여러 달 또는 여러 해에 걸친) 변동은 스트레스를 쌓아서 지진의 원인이 된다고 보고 있다. 이러한 현상은 95년의 일본 Kobe 지진전후의 고도정보를 비교함으로써도 확인되었는데, 이러한 계속적



[그림 1] Interferometer의 데이터 처리과정.

이고 지속적인 관찰은 미국의 스페이스 셔틀같은 일시적인 시스템으로는 불가능하고 일본이나 유럽의 시스템같은 본격적인 레이더 위성으로만 가능하다.

Interferometric SAR에 대한 최초의 제안은 1974년 Graham에 의해서였다.²⁾ 여기에서 그는 두 개의 안테나를 사용하여 하나는 송·수신용으로 사용하며, 다른 하나는 수신용으로 사용하였다 [그림 1]. 이 때 두 개의 수신 안테나의 거리의 차이에 따른 수신 신호의 위상차를 이용하여 표적의 고도에 대한 정보를 추출하였다. 먼저 두 개의 안테나 중 송·수신용으로 사용하는 아래쪽의 안테나로부터 수신된 신호는 다음과 같다.

$$e_a = A \sin \omega t \quad (1)$$

또한 위쪽의 수신 전용 안테나로부터 수신된 신호는 두 안테나의 위상차이를 고려하여

$$e_b = A \sin(\omega t + \psi) \quad (2)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 이 두 신호의 합은 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$e_a + e_b = A[\sin \omega t + \sin(\omega t + \psi)] \quad (3)$$

$$= 2A \cos \frac{\psi}{2} \sin \left(\omega t + \frac{\psi}{2} \right)$$

이 때 $\psi = \pi(2n+1)$ 일 때마다 null 값이 생긴다. 즉,

$$\theta_{null} = \sin^{-1} \frac{(2n+1)\lambda}{2h} \quad (4)$$

과 같다. 2차원적인 영상에서 특정 입사각에 따라 null이 나타나며, null까지의 거리는 식(1)로 부터 얻어지는 정상적인 레이더 영상에 null 영상을 오버랩 시킴으로써 구할 수 있다. 송·수신용 안테나로부터는 정상적인 SAR의 영상을 얻고 다른 하나의 수신전용 안테나로부터는 null 영상을 얻는 방법이 다.

Graham이 제안한 방법은 interferometer의 가능성을 제시했다는 데 그 의의가 있으나, null 영상 사이의 중간 부분에 위치한 표적에 대한 고도 정보를 정확히 추출할 수 없다는 단점이 있다. 그 이후 많은 연구자에 의해서 더욱 발전되어 Goldstein과 Zebker는 1987년에 방사상의 속도(radial velocity)를 측정하기 위한 along-track interferometric SAR에 대한 연구를 수행하였다^[3]. 그들은 두 개의 수평방향으로 분리된 안테나를 사용하여 해수면의 유동으로부터 산란된 신호를 안테나로부터 수신하여 두 개의 복소수 영상을 형성하였으며, 각각

두 영상의 픽셀사이의 위상차를 얻음으로써 해수면의 움직임을 측정할 수 있었다.

또한 Gabriel과 Goldstein^[4]은 1988년에 단지 한 개의 안테나로서 SIR-B(Shuttle Imaging Radar)의 두 번의 다른 경로를 통해 얻어진 영상을 이용하여 repeat-pass interferometry에 대한 가능성을 제시하였다. 앞서 Graham이 제시한 null 영상을 이용한 interferometer와는 달리 레이더의 지표면으로부터의 기하학적인 정보로부터 표적의 고도에 대한 정보를 추출할 수 있다. Interferometer에서 두 개의 안테나가 수직으로 분리되었다고 가정할 때 [그림 2]와 같은 구조로 나타낼 수 있다. 이때 두 개의 안테나로부터의 위상차는 다음과 같다.

$$\psi = -\frac{2\pi}{\lambda} \Delta r = -\frac{2\pi f}{c} \Delta r \quad (5)$$

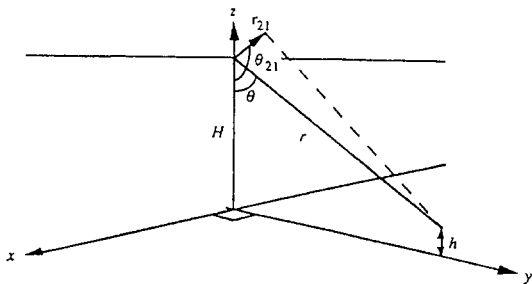
만일 repeat-pass interferometer와 같이 한 개의 안테나를 사용할 때에는 식(5)의 2π 를 4π 로 바꾸어야 한다. [그림 2]로부터

$$\frac{\psi\lambda}{2\pi} = -\Delta r = |\vec{r}_{21}| \cos(\theta - \theta_{21}) \quad (6)$$

$$\theta = \theta_{21} - \arccos \left(\frac{\psi\lambda}{2\pi |\vec{r}_{21}|} \right) \quad (7)$$

$$h = H - r \cos \theta \quad (8)$$

$$y = r \sin \theta \quad (9)$$



[그림 2] Interferometric SAR의 지표면으로부터의 기하학적 구조.

여기에서 θ 는 안테나가 표적을 바라보는 look angle이며, θ_{21} 은 baseline의 각도이다.

Interferometer의 기본 이론은 비교적 간단하지만, 실제 두 개의 영상으로부터 고도의 정보를 얻는 과정은 좀 더 복잡하고, 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중 한 분야가 image registration이다. 두 개의 안테나를 이용한 single-pass이던지 한 개의 안테나를 이용한 repeat-pass이던지, 얻어지는 두 개의 영상으로부터 원하는 표적의 고도에 대한 정보

를 얻기 위해서는 두 영상의 위상차를 구하여야 한다. 그런데 이 때 위상차를 구하는 표적의 픽셀의 위치가 정확히 두 영상에서 일치하여야만 정확한 고도의 정보를 얻을 수 있다. 만일 서로 다른 위치의 신호에 대한 위상차를 구한다면, 예상치 못하는 결과를 초래할 수도 있다. 이러한 두 영상의 정확한 위치를 파악하는 일이 바로 image registration이다. Gabriel과 Goldstein은 1988년에 cross-orbit에 의하여 SIR-B로부터 얻어진 영상에 대한 image registration에 대하여 언급하였다. 얻어진 두 개의 영상 중의 한 영상은 다른 영상에 대한 cross 방향과 along-track 방향으로 다시 샘플링하는 방법을 사용하였다. image registration에 대하여는 지금도 가장 적합한 방법을 찾기 위한 연구가 수행 중이다.

Interferometric 영상을 얻기 위한 또 하나의 신호처리 과정이 phase unwrapping이다. 위상값은 항상 2π 의 모듈로서 얻어지기 때문에 $-\pi$ 에서 π 의 값을 갖게 된다. 하지만 두 영상의 위상차를 구하기 위해서는 π , 2π , 3π , 4π ...와 같이 위상을 unwrapping 시켜야한다. 가장 간단한 방법은 바로 이전 픽셀과의 위상차가 π 를 넘었을 때 π 를 더해주거나, 빼주는 방법이다. 그러나 이러한 방법은 단순하고, 위상이 심하게 변하는 상황에서는 적합하지 않기 때문에, phase unwrapping의 알고리즘에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 그 중 몇 가지 방법을 소개하면 least-square의 방법에 의하여 위상의 편미분의 차를 최소화하여 위상을 unwrapping 하는 방법이 있으며, Neumann의 경계조건을 갖는 직사각형의 그리드상의 Poisson 방정식을 적용한 방법이 제시되었으며, FFT를 이용한 least-square의 방법을 적용하여 2차원적인 위상의 unwrapping을 시도하기도 하였다.

이와 같이 Interferometric SAR는 2차원적인 영상의 정보에 표적의 고도에 대한 정보를 얻기 위한 시스템으로, 시스템적인 측면에서는 single-pass InSAR와 repeat-pass InSAR로 나눌 수 있으며,

그 신호 처리과정에 필요한 image registration, phase unwrapping 또는 calibration, 오차의 원인에 대한 분석의 분야로 나누어져 활발히 연구가 진행되고 있다.

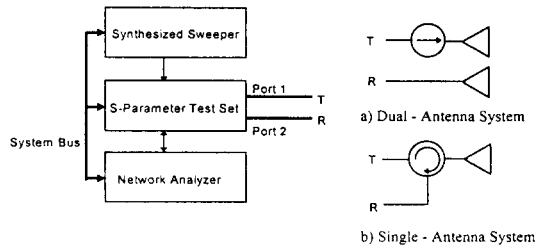
IV. 국내 연구 동향

원격 탐사분야에 사용되는 지상형(ground-based) 시스템은 airborne이나 spaceborne과는 달리 한정된 목적에 사용되고 있다. Airborne이나 spaceborne 시스템에서는 광범위한 지역을 측정 대상으로 하여 지표면 및 해양의 상태, 변화 등을 연구하기 위하여 사용되고 있으나, 지상형 시스템의 경우 지표면의 영상을 얻기보다는 특정한 환경 또는 지형 지물에서의 산란 계수를 측정하거나 (scatterometer), 지하의 매설물을 탐지하기 위한 GP-EN(Ground Penetration Radar), 또는 숲속의 표적을 탐지하기 위한 FOPEN(Foliage Penetration Radar) 등의 연구용으로 주로 사용되고 있다.

국내에서 진행되고 있는 원격 탐사용 레이다 시스템 연구에 대하여는 포항공대 전자과 특화 연구센터의 연구를 소개한다.

본 센터에서 제작한 시스템은 차량 탑재형 시스템으로서, 단일 편파가 아닌 수평 편파와 수직 편파의 조합, 즉 HH, HV, VH, VV에서의 산란된 신호의 크기와 위상을 측정할 수 있는 N.A.(Network Analyzer)를 기본으로 하는 polarimetric 시스템이다. Polarimetric 시스템은 표적으로부터 산란된 신호를 측정하여 표적의 σ^0 또는 σ 를 계산할 수 있는 scatterometer 뿐만 아니라, SAR와 같은 영상 레이다 분야에까지 널리 사용되고 있다.

일반적으로 N.A.는 어떤 선형 회로의 상대적인 크기와 위상 특성을 측정할 수 있으며, 이것은 선형 회로의 전달과 반사 특성을 측정할 수 있게 한다. 전달 특성의 측정은 실험회로를 통해 전달된 신호를 입사된 신호와 비교함으로써 측정할 수 있고, 반사 특성은 입력단자로부터 반사된 신호를 입사된



[그림 3] Scatterometer로서의 Network Analyzer의 구성도.

신호와 비교함으로써 측정하며, 이 경우에 출력단자는 matched load로써 terminate 시킨다^[5].

N.A. 시스템의 기본적인 구성은 RF 신호원, RF to IF converter, IF signal detector & A/D converter와 디지털 마이크로프로세서 및 디스플레이로 구성되어있다. RF 신호원은 실험회로에 입사신호를 제공하는 데 사용되며, 전달 또는 반사된 RF 신호와 입사신호의 샘플은 두 개 신호사이의 크기와 위상을 유지한 채 IF 신호로 바뀐다. 그 다음에 IF 신호는 검파되고, 실험회로에 대한 정보를 얻기 위해 디지털 형태로 바뀌어서 N.A.에 내장된 마이크로프로세서에 의해서 처리된다. 만일 frequency-swept 입사신호가 사용될 때, 그 측정결과는 회로의 주파수 응답특성을 나타내며, 시간영역의 응답을 얻기 위해서는 N.A.의 FFT 기능을 이용하여 얻을 수 있다.

[그림 3]의 측정 시스템은 N.A.를 scatterometer로서 사용할 수 있음을 보여준다. Scatterometer에서 실험회로는 측정 시스템과 분리된 자유공간에서의 어떤 레이다 표적이 된다. 이 경우 RF 신호원으로부터 나온 신호는 안테나를 통해 목표물을 향해 공중으로 전파된다. 목표물로부터 반사된 신호는 다른 안테나에 수신되어, RF 신호원으로부터 전달된 신호의 샘플과 비교된다. 이 시스템은 [그림 3]과 같이 송신단과 수신단의 안테나를 분리한 dualantenna 시스템이거나, 송·수신 안테나를 ci-

rculator를 이용하여 하나의 안테나를 사용해 singleantenna 시스템으로 구성할 수 있다^[6].

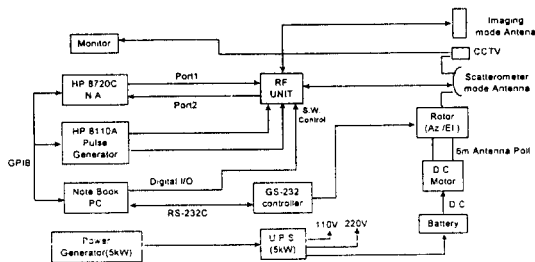
Transmission-Reflection 시스템과 scatterometer 사이의 주요한 차이는 scatterometer로서 동작할 때에는 전송된 신호와 다시 목표물에 맞고 되돌아 온 수신된 신호 사이에 상대적으로 긴 시간 지연이 있어, 지연시간 동안 reference 신호는 Δf 만큼의 주파수 변화가 있고, 이와 함께 $\Delta\phi=360\Delta f\tau$ 정도의 위상오차를 갖는다. 여기에서 지연시간 τ 는 전송된 거리와 목표물에 맞고 다시 되돌아 온 거리를 합해 $\tau=2r/c$ 이다. 만일 synthesized 신호원을 사용하면 전송 신호를 continuous sweep 대신 step frequency를 사용할 수 있어, 수신 신호와 똑같은 주파수에서 reference 신호를 유지할 수 있다. 그러나 신호원에서의 위상 불안정(phase instability)은 위상오차를 발생시킬 수 있어, coherent 시스템으로 동작하기 위해서는 이러한 위상오차는 지연시간 τ 보다 작아야한다.

본 연구 센터에서 제작한 차량 탑재형 시스템의 특징은 <표 2>와 같다.

사용되는 주파수는 X 밴드로서, 송신 전력은 약 20 dBm이다. 이 시스템은 승합차에 약 6 미터의 안테나 마스트와 안테나 rotor가 장착되어 있어, 원하는 방위각과 입사각을 조절할 수 있다. 또한 polarimetric scatterometer 모드뿐만 아니라, 영상 모드로서도 동작하여, 지상의 레이다 표적 및 클러터에 대한 레이다 영상을 얻을 수 있다. 차량 탑재형 시스템은 크게 여섯 가지 부분으로 나눌 수 있다. 1) HP 8720C Network Analyzer : 신호원 및 송·수신기로 사용, 2) RF 부분 : 스위치, 필터, 전력 증폭기 및 기타 RF 소자들로 구성, 3) 안테나, 안테나 마스트 및 rotor, 4) 전원부 : 발전기, U.P.S. 및 DC 배터리, 5) PC, PC 인터페이스 및 제어 SW 부 : PC로 전체 시스템을 제어하거나, 측정된 데이터를 저장, 6) 차량부 : 시스템을 탑재하거나 이동하는 시스템. [그림 4]는 시스템 블록 다이어그램이다.

〈표 2〉 차량 탑재형 시스템의 특징.

Frequency	X band
Transmit Power	20 dBm
Polarizations	HH, HV, VH, VV
Source and Transceiver	HP 8720C Network Analyzer
System control and data recording	Notebook PC
Height of Antenna Platform	6.5 m (6 m Antenna mast)
Incidence angle	10~90 deg.
Platform	Automobile - based
Antenna (Scatterometer mode and Imaging mode)	- WJ48780 Parabolic Antenna - TECOM 401093-3 Parabolic Antenna - PM 7320X /01 Horn Antenna - Flann 16240 Horn Antenna
Antenna Rotor	KR 5600B (Az: 0~360 deg., EL: -90 ~ +90 deg.)

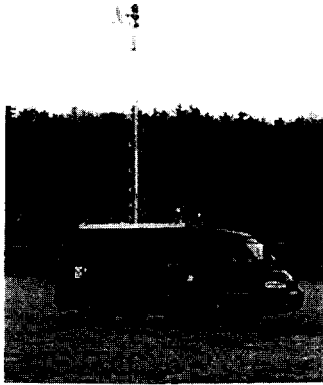


〔그림 4〕 차량 탑재형 시스템의 시스템 블록 다이어그램.

〔그림 4〕에서와 같이 노트북 PC와 N.A., 펄스 발생기는 GPIB에 의하여 연결되어 PC에 의하여 제어할 수 있으며, RF 부분의 안테나 편파의 제어에는 디지털 I/O 카드에 의하여 제어된다. 또한 rotor의 방위각 및 입사각은 PC의 RS-232C와 연결된 GS-232 제어기와 연결되어 제어된다. 전원부에서는 전력 공급을 위하여 차량 내부에 발전기가 장착되어 U.P.S.를 통하여 전원이 공급된다. 차량 내부에서 안테나가 지향하는 지역을 모니터링하기 위하여 안테나 상단에 CCTV용 카메라가 장착되어 있

다. 앞서 언급한 바와 같이 이 시스템은 레이다 산란체의 역산란계수를 측정할 수 있는 polarimetric scatterometer 모드와 레이다 영상을 측정할 수 있는 영상 모드로 동작한다. 근거리에서 안테나와 회로로부터의 반사를 제거하고, N.A.의 dynamic range를 증가시키기 위해 펄스모드를 사용하였다. 펄스 모드를 사용시에 신호대 잡음비를 약 10 dB 정도 향상시킬 수 있으며, N.A.에 손상을 주지 않고 고도 송신 전력을 증가시킬 수 있다. 여기에서 유의해야 할 것은 펄스 모드가 일반적인 레이다에서 말하는 펄스 레이다는 아니라는 점이다. N.A.의 손상을 막기 위하여 송·수신단을 on/off 하는 것이 펄스 폭에 의해서 거리방향의 분해능이 정해지거나, pulse compression과 같은 기법을 사용하지는 않는다. N.A.는 동작 자체가 FM-CW로서 동작하게 된다.

영상 모드에서는 단일 편파에서 클러터의 영상을 측정할 수 있다. 측정된 영상의 방위 방향의 분해능을 향상시키기 위해서 여러 가지 관련 SAR 신호처리 기법을 사용할 수 있다. N.A.를 이용하여 영상 모드에서의 레이다 영상을 측정하기 위해서는 N.



[그림 5] 차량 탑재형 시스템의 실제 사진.

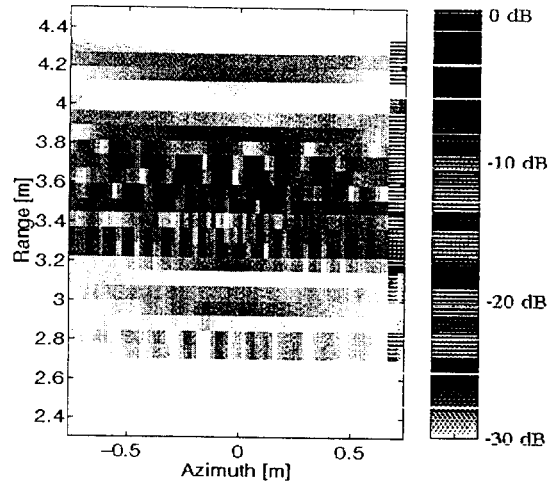
A. 자체의 측정에 소요되는 시간과 PC로의 데이터 전송에 소요되는 시간 때문에 시스템을 이동하면서 실시간 측정을 할 수 없다. 그러므로 어느 한 지점에서 측정한 후 데이터를 PC에 저장하고, 다시 일정한 거리만큼 움직인 후 데이터를 측정하는 시스템이 될 수밖에 없다.

[그림 5]는 제작된 차량 탑재형 시스템의 실제 사진이다.

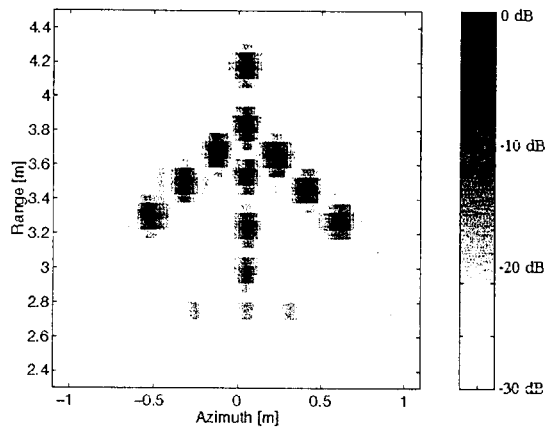
이 시스템을 이용하여 측정된 데이터의 몇 가지 예를 들면 다음과 같다.

[그림 6]은 N.A.를 이용하여 측정된 데이터를 IFFT에 의하여 시간 영역으로 변환한 후 영상 처리하여 얻은 SLAR 영상과 이를 방위각 방향의 분해능을 향상시키기 위하여 SAR 신호처리 기법을^[2] 이용하여 얻은 SAR 영상이다.

실험에 사용된 표적은 길이 10 cm, 직경 5 cm의 알루미늄 실린더로서, 14개의 실린더를 비행기 모양으로 배열하여, 안테나를 2 cm씩 이동하면서 측정하였다. [그림 6]에서와 같이 SLAR 영상에서는 비행기의 형태를 알아 볼 수 없지만, 방위 방향의 분해능 향상을 위하여 SAR 신호처리 기법을 적용한 SAR 영상에서는 비행기의 형태를 알아 볼 수



a) SLAR 영상

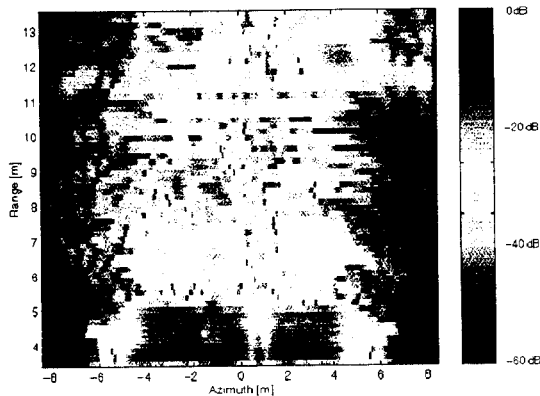


b) SAR 영상

[그림 6] SLAR영상과 SAR영상 비교.

있다.

이러한 연구는 단순한 신호처리 기법의 터득을 위한 연구가 아닌, 실제 제작된 시스템에 가장 적합한 신호처리 기법을 도출하며, 이 시스템을 이용하여 얻은 레이더 영상의 분해능을 향상시킴으로써 원격탐사 분야에 활용하고자 하는 목적으로 수행되고 있다.



[그림 7] 나무숲에 가려진 세 가지 레이더 표적의 SAR 영상.

앞에서의 두 가지 실험은 모두 X 밴드를 이용한 실험이었지만, 지금 설명할 예는 UHF를 이용한 FOPEN(Foliage Penetration Radar)에 관한 실험이다. FOPEN은 주로 나무 숲 속에 가려진 표적을 탐지하기 위한 레이더로서, 나무 숲 속을 투과하기 위하여 주로 UHF 대역의 주파수를 사용하고 있다. 본 센터에서 제작된 차량 탑재형 시스템의 경우 주로 X 밴드에서 사용할 수 있도록 설계되었지만, 현재 FOPEN의 제작을 위하여 UHF 대역 시스템으로의 변경 및 제작에 관한 연구를 수행하고 있다. [그림 7]은 나무숲에 가려진 세 가지 레이더 표적에 대한 SAR 영상이다. 이 실험에서 사용된 주파수는 300 MHz ~ 1,000 MHz로서 거리 방향의 분해능은 30 cm이다. 또한 방위 방향의 안테나의 이동 간격은 5 cm이다.

[그림 7]에서는 나무숲에 가려진 세 가지 레이더 표적에 대한 영상이 나타나 있음을 알 수 있다.

V. 요 약

본 원고에서는 원격탐사용으로 사용되는 레이더 중에서 가장 많이 사용되는 SAR에 대해 소개하였고, 또한 본 대학의 관련연구를 소개하였다. SAR

는 주로 넓은 지역의 레이더 영상을 얻는데 사용되는 소위 영상 레이더로서, 기본 구성품은 일반적인 레이더와 크게 다를 바 없으며 거의 모든 부분에서 현재의 state-of-the-art를 크게 벗어나는 요구사항은 없다고 판단된다. 단지 아주 작은 분해능(수십 cm정도)을 실시간으로 요구할 때에는 막대한 계산량으로 인한 신호처리에서의 병목 현상을 적절히 해결해야 한다. 또한 현재 많이 발표되고 있는 Interferometric SAR에 대해 간단히 소개하였으며, 마지막으로 레이더 영상으로부터 표적의 제반 특성을 추출하는 inversion algorithm을 개발하거나 기타 여러 연구에 사용될 수 있는 차량 탑재형 Scatterometer에 대해 소개하였다. 본 대학에서 개발 중인 POPOS가 완성되면 지금까지 측정되거나 발표된 적이 없는 한국 특유의 표적이나 경작물들의 산란 특성(σ^0)을 측정할 수 있으며, 또한 현재 관심의 대상이 되고 있는 GPEN 또는 FOPEN 등의 연구에도 크게 도움이 될 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

- [1] "Operational use of civil Space-Based SAR", *JPL Publication* 96-16, Aug. 1996
- [2] M.Soumekh, *Fourier Array Imaging*, Englewood Cliffs, New Jersey
- [3] Goldstein, R. M. and H. A. Zebker, "Interferometric Radar Measurements of Ocean Surface Currents," *Nature*, 328(20), 707-709, 1987
- [4] Gabriel, A. K. and R. M. Goldstein, "Crossed Orbit Interferometry : Theory and Experiments Results from SIR-B," *Int. J. of Remote Sens.*, 857-872, 1988
- [5] "Radar Cross Section Measurements with the HP 8510 Network Analyzer," *Hewlett Packard Product Note*, No. 8510-2, 1987
- [6] F. T. Ulaby and C. Elachi, *Radar Polar-*

*metry for Geoscience Applications, Artech
House, Norwood, MA, 1989*

저자소개

김영수

1952년 1월 23일생
1974년 2월 서울대학교 전자공학과 학사
1980년 5월 University of Kansas 전기
공학과 석사
1984년 5월 University of Kansas 전기
공학과 박사
1974년 8월~1977년 8월 국방과학연구소 연구원
1978년 5월~1983년 12월 캔사스대학 원격탐사연구소 연구원
1983년 12월~1987년 4월 Florida Atlantic University 조교수
1987년 4월~현재 포항공과대학교 전자·전기공학과 교수



저자소개

전민

1965년 12월 14일생
1991년 2월 전북대학교 전자공학과 학사
1993년 2월 포항공과대학교 전자·전기
공학과 석사
1993년 3월~현재 포항공과대학교
전자·전기공학과 박사과정 재학중

