

## 실시간 영상형성 및 원시데이터 획득용 SAR 테스트 베드

신현익<sup>\*,1)</sup> · 권경일<sup>1)</sup> · 윤상호<sup>1)</sup> · 김형석<sup>1)</sup> · 황정훈<sup>1)</sup> · 고영창<sup>1)</sup> · 유응노<sup>2)</sup> · 김진우<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 제3기술연구본부

<sup>2)</sup> LIG넥스원(주) 우주영상연구센터

### SAR Test-bed to Acquire Raw Data and Form Real-time Image

Hyun-Ik Shin<sup>\*,1)</sup> · Kyoung-Il Kwon<sup>1)</sup> · Sang-Ho Yoon<sup>1)</sup> · Hyung-Suk Kim<sup>1)</sup> ·  
Jeonghun Hwang<sup>1)</sup> · Young-Chang Ko<sup>1)</sup> · Eung-Noh You<sup>2)</sup> · Jin-Woo Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> The 3rd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

<sup>2)</sup> Space Imaging R&D Center, LIGNEX1 Co., Ltd., Korea

(Received 23 September 2016 / Revised 3 February 2017 / Accepted 24 March 2017)

#### ABSTRACT

Synthetic aperture radar(SAR) has been widely used for reconnaissance. It provides high-resolution, day-and-night and weather-independent images for a multitude of applications<sup>[1]</sup>. Because SAR coherently combines many viewing angles to effectively create a large aperture(narrow beam) radar, the test-bed should be capable of moving straightly SAR sensor for the integration angle to meet resolution. This paper describes the test-bed developed to test and evaluate the SAR performance. It forms high-quality images in real time and saves the raw data for the purpose of post processing on the ground.

Key Words : SAR(영상레이더), Test-bed(테스트 베드), EGI(복합항법장치), Electronic and Processing Set(전자/처리세트), Antenna and Gimbal Set(안테나/감발 세트)

#### 1. 서론

네트워크 중심의 현대전에서 전장의 주도권을 선점하기 위해서는 우주 및 항공 감시정찰체계를 활용한 고해상도 영상정보 획득이 필수적이다. 이를 위한 대표적인 수단이 정찰위성 및 유·무인 항공기 체계이며, SAR(영상레이더)는 주·야간 구름 등의 영향을 받지 않

고 높은 해상도의 영상을 획득할 수 있는 장점 때문에 군사용으로 그 역할이 증가하고 있을 뿐만 아니라 해상도 또한 지속적으로 향상되고 있다<sup>[2]</sup>.

높은 해상도의 영상을 형성하는 SAR와 이동표적을 주로 탐지하는 탐색 레이더의 가장 큰 차이는 방위방향 해상도이다. 두 경우 모두 거리방향 해상도는 송신호의 대역폭(Bandwidth)에 의해 정해지지만, 탐지 레이더의 방위방향 해상도는 방위각 빔 폭으로 정의됨으로 탐지거리가 멀어짐에 따라 커지게 된다. 하지만 SAR는 거리에 관계없이 동일한 방위방향 해상도를 갖는

\* Corresponding author, E-mail: shi1124@add.re.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

영상을 형성한다. SAR의 이러한 방위방향 해상도는 레이더가 공간상에서 직선 비행을 하면서 전자파를 송신하고 반사 신호를 획득하면, 특정 지점에서 반사된 신호의 도플러주파수가 선형적으로 변화하는 원리를 이용하여 구현된다<sup>3)</sup>. 이러한 원리를 이용하여 거리에 무관한 해상도를 얻기 위해선, 경사거리(Slant Range)에 관계없이 항상 방위방향 누적 각(Integration Angle)을 동일하게 유지해야 한다. 따라서 표적이 멀어질수록 데이터 수신을 위한 비행거리 또한 늘어나야 하며, 원하는 해상도에 따라서는 수 km 이상을 비행하여야 한다.

이러한 특성 때문에 SAR 장비개발과 병행하여 기능 및 성능을 확인할 수 있는 차량, 레일 또는 항공기 등을 이용한 테스트 베드 구성이 반드시 필요하다. 이러한 테스트 베드는 SAR의 영상형성 알고리즘, 요동보상(Motion Compensation) 알고리즘, AF(Autofocus) 알고리즘 및 지상이동표적탐지 알고리즘 등을 동일한 환경에서 반복적으로 검증할 수 있도록 한다<sup>4)</sup>.

본 논문에서는 PIPER 항공기의 개조 및 승인을 통해 SAR 장비와 SAR 장비를 시험하기 위해 필요한 각종 장비들을 탑재할 수 있는 테스트 베드를 구축하고, 반복적인 비행시험을 통해 개발 중인 SAR 장비의 성능을 확인하였다.

## 2. 테스트 베드의 구성 및 기능

Fig. 1은 SAR 테스트 베드 구축을 위해 비행체에 탑재되는 장비의 구성으로, 성능확인을 위한 SAR 장비를 포함하여 GPS(Global Positioning System) 수신기, EGI(Embedded GPS Inertial navigation system, 복합항법장치), 점검장비(Checking Equipment), 점검장비 제어기(Controller), 전원관련 장비 및 데이터 저장용 노트북 등으로 이루어져 있다.

성능확인을 위해 탑재되는 SAR 장비는 전자/처리 세트(Electronic and Processing Set)와 안테나/감발 세트(Antenna and Gimbal Set)로 구성되어 있다. 전자/처리 세트는 광대역의 고출력 송신신호를 생성하고 안테나에서 수신한 미약한 신호를 증폭/변조하는 송수신부, 수신된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하고 신호처리 및 영상형성 알고리즘을 수행하는 처리부 및 SAR 운용을 제어하는 통제부로 구성되어 있으며, 안테나/감발 세트는 RF 신호를 공간상에 방사하고 반사

되어온 신호를 획득하는 안테나와 고각(Elevation) 및 방위(Azimuth) 방향의 2축 구동기로 안테나가 원하는 방향을 지향하도록 하는 감발부로 구성되어 있다.

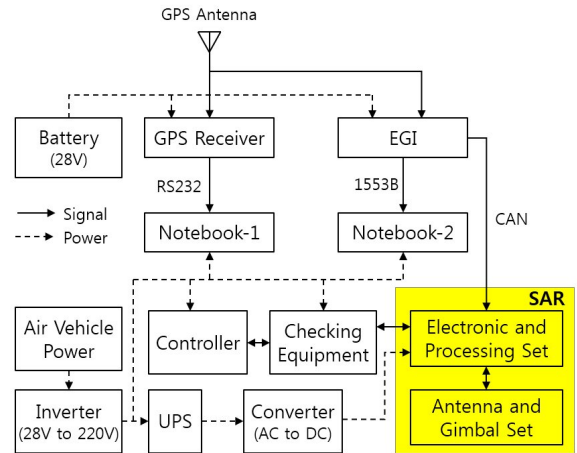


Fig. 1. Block diagram of the SAR testbed

GPS 수신기로부터 획득된 비행체의 위치정보는 RS232 통신을 통해 노트북에 저장되며, 지상의 고정된 지점 또는 정확한 위치를 알고 있는 기준군에서 획득한 GPS 수신기 정보와 결합하여 CDGPS(Carrier Phase Differential GPS) 기능을 수행함으로써 수 cm의 정확도로 비행체 위치를 계산할 수 있다. 따라서 이와 같이 계산된 결과를 비행체의 실제 비행경로로 가정하고, 직선비행에서 얼마나 벗어나 비행했는지의 지표로 사용하였다.

EGI는 SAR의 실시간 영상형성 시, 요동보상 알고리즘 수행에 필요한 비행체의 위치, 속도 및 자세정보 등을 CAN(Controller Area Network) 통신을 통해 전자/처리세트로 제공하며, 전자/처리세트의 처리부는 실시간으로 형성된 영상은 물론 원시(Raw) 데이터와 영상형성에 필요한 관련 정보들까지 동시에 저장함으로써 지상에서의 후(Post) 처리를 통해 실시간 처리의 문제점 확인 및 개선을 쉽게 할 수 있도록 하여준다. 또한 EGI와 전자/처리세트간의 CAN 통신상에서의 문제를 확인할 수 있도록 1553B 통신을 통한 EGI 데이터 저장 기능도 추가하였다.

점검장비는 제어기를 통해 비행 전 지상점검 또는 비행 중 SAR 장비의 정상 동작 여부를 확인할 수 있도록 하는 장비이며, 임무 수행을 위한 MDF(Mission Definition File) 또한 제어기에서 점검장비를 통해 SAR

장비에 장입된다.

SAR 장비 및 기타 시험장비에 필요한 전력은 배터리 및 비행체의 DC28V 전원을 사용하여 공급된다. 신뢰성 있는 항법데이터 이용을 위해 사전 정렬(Align)이 요구되는 EGI와 상대적으로 전력소모가 적은 GPS 수신기에는 배터리 전원을, 점검장비 및 점검장비 제어기에 필요한 AC220V는 비행체의 DC28V를 변환하여 사용하였으며, SAR 장비 운용에 필요한 DC28V는 고출력 송신 시에도 안정적인 전력이 공급될 수 있도록 UPS(Uninterruptible Power Supply)와 AC/DC 변환기를 거쳐 공급되도록 구성하였다.

### 3. 테스트 베드의 구현

SAR가 고해상(Spot) 모드의 영상을 획득하기 위해 요구되는 안테나 구동범위는 비행체 진행방향 90°(Broadside) 기준  $\pm$ 수십 도에 이른다. 따라서 안테나/감발세트는 동체 중앙 배면에 돌출하여 장착되는 것이 운용 측면에서 가장 효율적이다. 이러한 이유로 하여 광학영상 촬영목적으로 항공기 중앙에 사각 홀이 뚫어져 있는 PIPER(PA31-350)를 SAR 테스트 베드용 항공기로 선정하였다.

Fig. 2는 항공기 중앙 사각 홀에 안테나/감발세트를 장착하기 위해 필요한 치구들로, 안테나/감발세트 장착판, 장착판 지지대, 레이돔 장착판, 레이돔 장착판과 동체면의 틈을 밀착시켜줄 목적의 완충 고무링 등과 이들 치구의 조립 형상을 보여주고 있다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 안테나/감발세트 장착판은 비행체 내부에 레이돔 장착판과 완충 고무링은 비행체 외부에 장착되며, 장착판 지지대가 안테나/감발세트 장착판과 레이돔 장착판을 연결해 주는 구조로 되어있다.

Fig. 3은 Fig. 2의 장착용 치구를 이용하여 비행체 배면에 안테나/감발세트와 레이돔을 장착한 형상을 보여주고 있으며, Fig. 4는 테스트 베드용 PIPER 항공기의 외부 형상으로 동체 배면 중앙에 안테나/감발세트와 레이돔이 위치하고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 4와 같이 안테나/감발세트와 레이돔이 비행체 외부에 돌출하여 장착되기 때문에 항공청으로부터 감항성 요구조건 충족에 필요한 서류심사 및 비행 적합성 시험을 통과해야 하며, 레이돔을 장착한 비행체 형상으로 3회의 시험비행을 통해 “대 수리 및 개조(Major Repair and Alteration)” 승인을 득하였다.

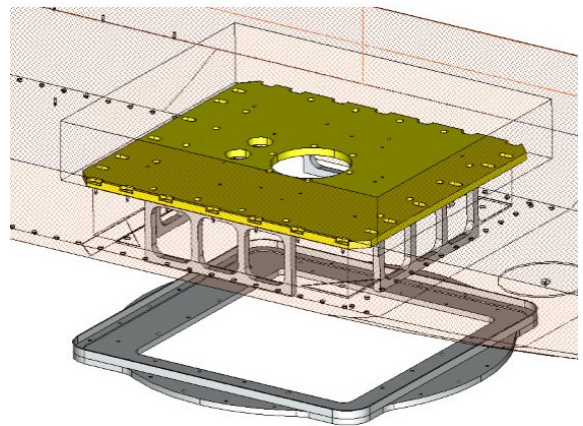
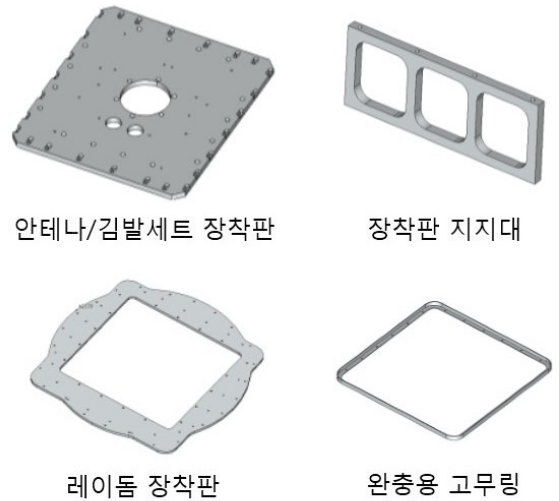


Fig. 2. Jig to install the antenna and gimbal set



Fig. 3. The antenna and gimbal set installed to PIPER aircraft



동체 하단에 돌출하여 장착된 안테나/김발세트를 보호하고, 비행 역학적 안정성을 보장하기 위해 설치된 레이돔은 안테나의 빔 패턴 및 전력 손실을 초래할 수 있다. 이에 따른 안테나 빔 패턴 영향성은 근접전계(Near Field) 측정을 통해 사전에 확인하였으며, 전력손실은 실제 사용하는 레이돔 보다 큰 값을 보였으나 테스트 베드용으로 사용하기에는 무리가 없는 정도로 확인되었다.

Fig. 5는 비행체 내부에 장착된 장비 형상으로 안테나의 빔 조향 오차를 최소화하기 위하여, EGI와 안테나/김발세트가 동일한 거동 특성을 갖도록 EGI는 안테나/김발세트 장착판 위에 설치하였으며, GPS 안테나는 동체 상부에 돌출되도록 설치하여 수신 특성이 최대가 되도록 하였다. 그리고 전자/처리세트, 점검장비 및 기타 전원관련 장비들은 승객용 좌석을 제거한 공간의 별도 장착판 위에 설치하였다.



Fig. 4. PIPER aircraft



Fig. 5. Equipment installed in the cabin

#### 4. 비행시험 결과

개발된 SAR 장비의 성능확인을 위한 비행시험은 인가된 공역 내에서 사전 항공촬영 허가를 득하고 Fig. 6과 같이 장주(Race Track) 형태의 비행을 하면서 촬영 중심점(P1~P12) 전후 구간에서 원하는 표적지역(T2~T6)을 촬영하는 방식으로 수행되었다. 시험결과로 제시된 10,00 ft 영상은 P10 중심점 전후 구간에서 T3 지역을 촬영한 영상이다.

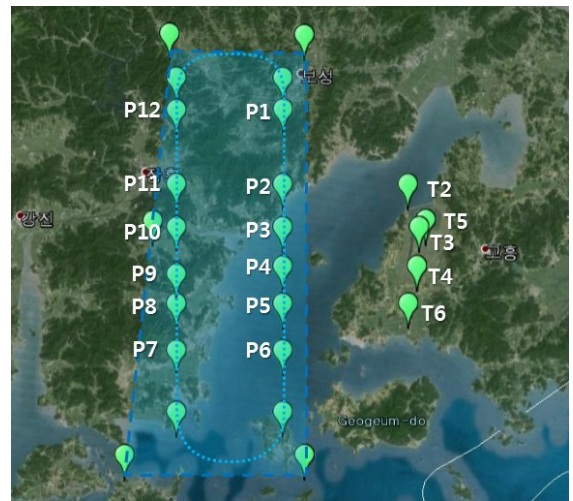


Fig. 6. Flight scenario

비행시험에서 획득된 SAR 영상의 촬영위치 정확도는 MDF에서 설정한 촬영지역의 중심점 좌표와 SAR에서 형성된 영상의 중심점 좌표를 비교하여 확인하였으며, 영상에 대한 해상도는 촬영영역에 Fig. 7의 CR(Corner Reflector) 또는 LR(Luneberg Reflector)을 설치하고 이에 대한 IRF(Impulse Response Function) 특성을 통해 확인하였다. LR은 360° 전 방향에 대해 일정한 RCS(Radar Cross Section) 값을 나타내기 때문에 고해상도 모드 of 스쿼트(Squint) 영상 품질분석에 매우 유용하게 활용되었다.

Fig. 8과 9는 비행시험에서 실시간(On-board)으로 형성된 표준(Strip) 영상을 Fig. 10은 인터넷 포털에서 제공된 동일 지역의 광학영상이다. 표준영상 형성은 RDA(Range Doppler Algorithm)와 PGA(Phase Gradient Autofocus) 알고리즘이 적용되었다. MDF 상에서의 영상 중심과 획득된 영상에서의 중심은 수십 m 이하의 오차를 나타내었으며, 영상품질 면에서도 양호한 결과

를 확인할 수 있었다. 특히 SAR에 있어서 가장 중요한 요구규격 가운데 하나인 해상도는 영상형성 지역에 설치한 표준 표적인 CR의 IRF 분석을 통해 규격 만족을 확인하였다. 또한 CR 영상에 대한 SNR(Signal-to-Noise Ratio) 분석을 통해 SAR 체계설계(SAR System Design)에 대한 타당성도 확인하였다.

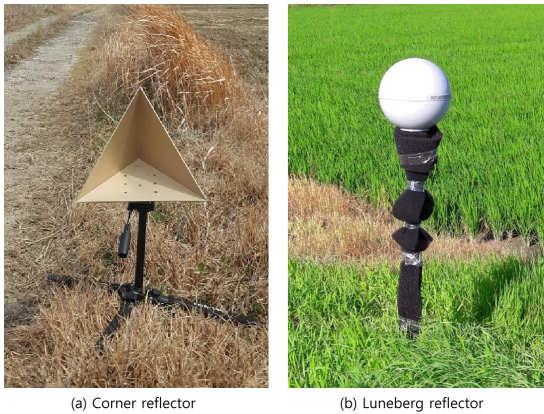


Fig. 7. Reflectors used to measure performance

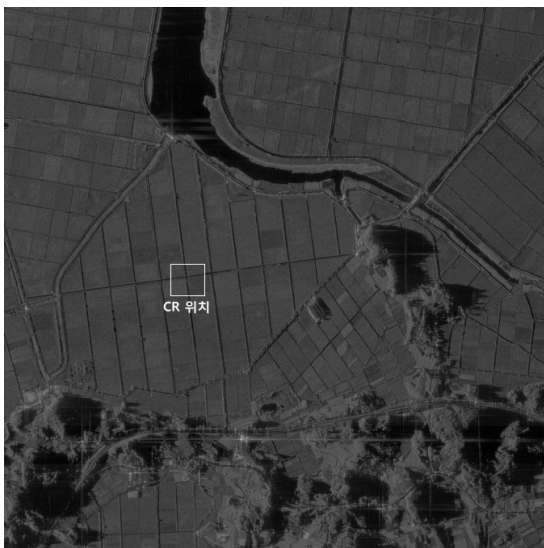


Fig. 8. Strip image(10,000 ft, 4 km x 4 km)

Fig. 8과 9는 동일 지역을 상이한 고도 및 거리에서 촬영한 결과이다. Fig. 8은 고도 10,000 ft, 경사(Slant) 거리 약 23.14 km에서 촬영한 영상으로 관측 각(Look Angle)은 약 85.5도, Fig. 9는 고도 7,000 ft, 경사거리 약 32.19 km에서 촬영한 영상으로 관측 각은 약 86.25

도 이다. 즉, Fig. 9가 Fig. 8에 비해 낮은 고도의 먼 거리에서 촬영된 관계로 영상의 SNR(Signal-to-Noise Ratio) 차이를 확인할 수 있으며 산들에 의한 음영(Shadow) 영역이 Fig. 9에서 훨씬 길게 나타남을 확인할 수 있다. 성능 확인을 위하여 Fig 8의 CR 위치 영역에 Fig. 7 (a)의 CR 2개를 눈독에 위치시켰으며, Fig. 8의 CR 위치 영역을 확대한 Fig. 11 영상에서 2개의 CR을 확인할 수 있다. 또한 영상의 음영 방향에서 확인할 수 있듯이 가로축이 거리방향, 세로축이 비행(방위)방향 이다.

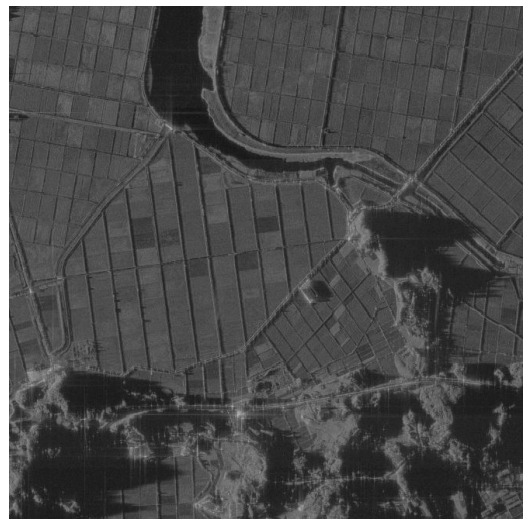


Fig. 9. Strip image(7,000 ft, 4 km x 4 km)

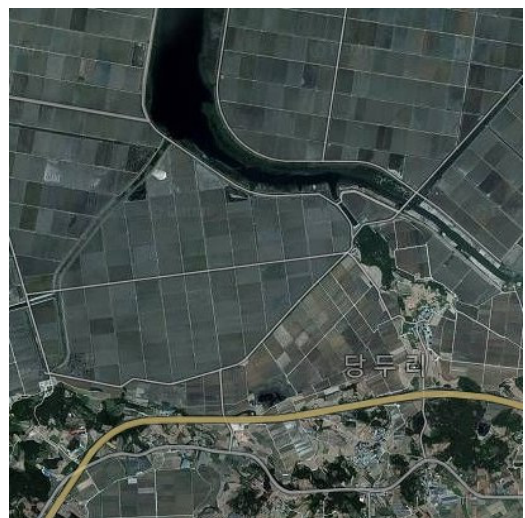


Fig. 10. EO image

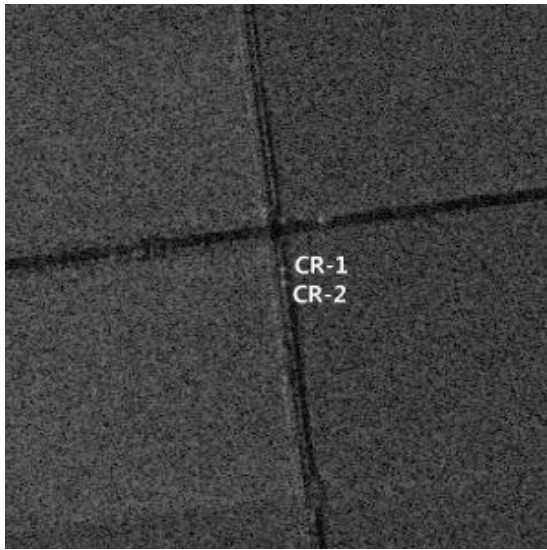


Fig. 11. Expanded image of CR area

## 5. 결론

SAR 장비의 기능 및 성능을 확인하기 위한 테스트 베드를 구성하고, PIPER 항공기를 이용한 개조/승인을 통해 이를 구현하였다.

구현된 테스트 베드의 효용성을 확인하기 위하여, 개발 장비를 탑재하고 비행시험을 수행하였으며 양호한 영상을 획득할 수 있었다. 촬영된 영상의 품질은 CR의 IRF 특성을 통해 확인하였으며, 획득된 표준영상의 해상도가 설계규격을 만족하였다.

본 시험에서 사용된 전자/처리세트는 실시간 영상처리뿐만 아니라 원시데이터 또한 동시에 획득할 수 있기 때문에 SAR 알고리즘 개발은 물론 지상 및 해상 이동표적 탐지 알고리즘 개발에 필요한 데이터 획득용으로도 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

## 후 기

SAR 테스트 베드를 이용한 비행시험을 적극적으로 협조/지원해주신 항공우주연구원 고흥항공센터와 천우항공 관계자분들께 감사드립니다.

## References

- [1] A. Moreira, "A Tutorial on Synthetic Aperture Radar," IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, pp 6-42, March, 2013
- [2] G. R. Benitz, "Synthetic Aperture Radar(SAR) Tutorial," MTI Lincoln Laboratory, October, 2009.
- [3] J. C. Curlander and R. N. McDonough, "Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing," John Wiley and Sons, Inc. New York, 1991.
- [4] Peter Hoogeboom, et. al., "The PHHRUS Project, Results of the Definition Study Including the SAR Testbed PHARS," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 30, No. 4, pp. 723-735, July, 1992.
- [5] Bruce Walker, et. al., "A High-Resolution, Four-Band SAR Testbed with Real-Time Image Formation," International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 1881-1885, 1996.
- [6] B. J. Smith, W. Gramer and R. Cannon, "Precision Dynamic SAR Testbed for Tactical Missiles," 2004 IEEE Aerospace Conference Proceedings, pp. 2220-2224, 2004.