

수풀투과를 위한 초 광대역 레이더의 송수신기 설계

박규철, 선선구, 조병래, 이정수, 하중수

Design of Ultra Wide Band Radar Transceiver for Foliage Penetration

Gyu-Churl Park, Sun-Gu Sun, Byung-Lae Cho, Jung-Soo Lee, Jong-Soo Ha

요 약

무인 차량의 야지 자율 주행을 위한 목적으로 수풀 뒤쪽에 가려져 있는 장애물을 탐지하고 회피하기 위해 수풀을 투과하여 차량의 전방을 고해상도로 영상화할 수 있는 근거리 초 광대역 영상 레이더의 송수신기를 설계한다. 송수신기는 방위각 해상도를 향상시키기 위해 좌측과 우측으로 송신할 수 있도록 두 개의 송신기가 요구되며, 수신기의 경우는 영상을 합성하기 위하여 다채널 수신기가 요구된다. 송수신기는 고 전력 증폭기와 채널 선택 스위치 및 파형 발생 모듈로 구성된다. 수신기는 16 채널 수신기, 수신 채널 변환기, 중간 주파수 하향 변환 모듈로 세분화 할 수 있다. 제안한 구조를 제작하기 전에 모델링 및 시뮬레이션 방법을 통해 여러 파라미터를 도출함으로써 가능성을 입증하였다. 그리고 제안한 송수신기를 산업용 부품을 이용하여 제작하고 성능 파라미터를 측정하여 모든 설계 요구 조건이 만족됨을 확인하였다.

Key Words : forward imaging radar, synthetic aperture radar, ultra wide band, unmanned ground vehicle, transmitter, receiver

ABSTRACT

This study is to design the transmitter and receiver of short range UWB(Ultra Wide Band) imaging radar that is able to display high resolution radar image for front area of a UGV(Unmanned Ground Vehicle). This radar can help a UGV to navigate autonomously as it detects and avoids obstacles through foliage. The transmitter needs two transmitters to improve the azimuth resolution. Multi-channel receivers are required to synthesize radar image. Transmitter consists of high power amplifier, channel selection switch, and waveform generator. Receiver is composed of sixteen channel receivers, receiver channel converter, and frequency down converter. Before manufacturing it, the proposed architecture of transceiver is proved by modeling and simulation using several parameters. Then, it was manufactured by using industrial RF(Radio Frequency) components and all other measured parameters in the specification were satisfied as well.

I. 서 론

1940년대 레이더가 군사적 목적으로 발명된 이래 장거리 표적 탐지 및 추적 레이더 분야로 발전해 왔으며, 현재에는 합성 개구면 레이더뿐만 아니라 민수 분야에서의 차량 충돌 방지 레이더, 의료용 영상 레이더 및 무인 차량의 장애물 회피를 위한 영상 레이더 분야에 이르기까지 그 사용이 널리 확대되고 있다.[1-2]

무인 차량이 야지 자율 주행을 할 때 차량의 전방 및 주변에 대한 지형정보, 즉 장애물, 웅덩이 및 바위와 같은 지형에 대한 정보 획득을 위하여 여러 센서들 중 영상 레이더가 사용된다. 무인 차량에 장착된 영상 레이더는 다른 센서와 달리 주파수에 따라 수풀을 투과할 수 있어 다른 센서의 단점

을 보완할 수 있고, 모래, 흙먼지 및 안개 등의 기상 조건이나 주, 야간에 관계없이 전천후로 영상을 획득할 수 있는 장점이 있다.[3-4]

무인 차량의 자율 주행을 위하여 전방의 장애물을 영상화하기 위해서는 정밀한 거리 해상도와 방위각 해상도가 필요하다. 정밀한 거리 해상도를 얻기 위해서는 초 광대역의 송신 파형이 필요하고, 정밀한 방위각 해상도를 얻기 위해서는 방위각 해상도가 안테나의 개구면의 크기에 반비례하므로 커다란 개구면의 안테나 구조가 필요하다. 기존의 합성 개구면 영상 레이더인 SAR(Synthetic Aperture Radar)는 옆 방향을 관측(side-looking)하고 하나의 송신기에 하나의 수신기로 송수신하여 데이터를 획득하는 monostatic 구조로 되어 있다. 하지만, 무인 항공기의 자동 이·착륙 및 무인 차량

*국방과학연구소 국방신기술센터 융·복합기술연구부(hamil@add.re.kr, sgsun@add.re.kr, chobl@add.re.kr, jslee@add.re.kr, jsha@add.re.kr)

교신저자: 하중수

접수일자: 2012년 5월 13일, 수정완료일자: 2012년 6월 19일, 게재확정일자: 2012년 6월 25일

의 항법과 관련된 전방 관측(forward-looking) 레이더는 하나의 송신기에 수십 개의 수신기로 동시에 송수신하여 데이터를 획득하는 bistatic 구조로 되어 있다.[5]

무인 차량에 장착될 전방 관측 영상 레이더는 가능성 연구만 수행되었으며[6], 해외에서도 미국의 ARL(Army Research Lab) 연구소에서 SIRE(Synchronous Impulse Reconstruction) UWB 레이더 시스템을 연구하고 있다[7]. 또한 헬리콥터의 이·착륙을 보조하는 시스템으로 독일의 DLR 연구소에서 연구한 SIREV(Sector Imaging Radar for Enhanced Vision) 레이더 시스템이 있다.[8]

마이크로파를 이용하여 수풀을 투과하여 수풀 뒤에 있는 물체를 영상화하기 위해서는 S 밴드 이하 대역의 고주파 신호를 이용하고 정밀한 거리 해상도 및 방위각 해상도를 얻기 위해서는 배열형 수신 안테나를 장착하여 초 광대역 영상 레이다를 설계해야 한다.

본 논문에서는 이와 같은 레이더 개발에 있어서 주요 구성품인 송수신기의 구조 및 설계 방법을 제안하고, 산업용 RF 구성품을 사용하여 제작한 내용을 포함한다. 이 송수신기는 크게 송신기 결합체 및 수신기 결합체로 이루어진다. 송신기 결합체에서는 DDS(Direct Digital Synthesizer)에서 만들어진 송신 LFM(Linear Frequency Modulation) 파형을 RF 대역으로 4 체배 또는 8 체배하여 상향 변환하고, 이 광대역 신호를 1W 이하의 출력으로 증폭하여 좌측 또는 우측으로 송신 채널을 결정하여 송신하는 기능을 한다. 수신기 결합체는 지형으로부터 반사된 RF 대역의 신호를 낮은 잡음을 가지며 신호처리기에서 처리 가능한 크기의 신호로 하향 변환 및 증폭하여 ADC(Analog to Digital Converter)하는 기능을 갖도록 설계한다. 상용 소프트웨어로 각 구성품을 설계하고 Matlab simulink로 시뮬레이션을 수행하며, 구성품 제작 후 측정 결과를 분석하여 송수신기의 성능이 설계 규격을 만족하는지 확인한다.

II. 송수신기 설계

이 송수신기가 적용되는 초 광대역 영상 레이더의 탐지 범위는 전방 B m에서 B0 m, 방위각 방향으로 60°이다. 이 영역에서 거리 해상도는 수 cm, 방위각 해상도는 B°를 달성해야 하는데, 거리 해상도를 만족하기 위해 1.5 GHz 이상의 대역폭을 갖는 LFM 파형을 사용해야 한다. 방위각 해상도 B°를 만족하기 위해 두 개의 송신 안테나를 수신 안테나 좌우에 배치하여 격변으로 송신하는 구조로 설계하였다.

1. 송수신기 요구 조건

이 요구 조건을 만족하기 위한 송수신기의 구조는 2 채널 RF 대역 송신기, 16 개의 수신 채널 결합체, 중간 주파수 하향 변환, 4:1 수신 채널 변환기, 파형 발생 모듈을 포함한다.

그림 1은 송수신기의 전체 구성도를 나타내며, 이에 대한 요구 조건은 표 1과 같다.

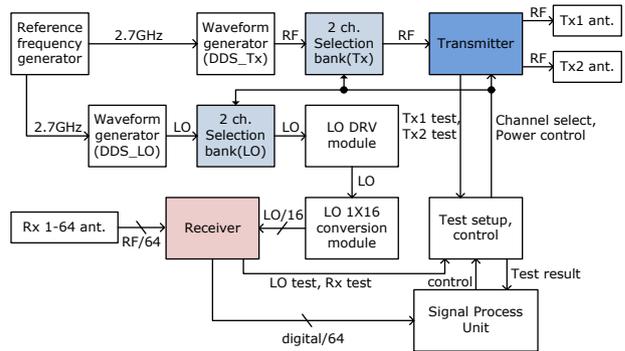


그림 1. 초광대역 UWB 레이더 송수신기 블록도

표 1. 송수신기 요구 조건

항목	요구 조건
송수신기 형태	Direct Conversion
송신 출력	25dBm
변조 방식	LFM
송신기 채널	2
송신 주파수	x.6-x.2/x.4-x.4
송신 대역폭	1.6GHz/2.0GHz
위상 잡음	60dBc@1.34kHz
수신 잡음 대역폭	150kHz
수신 채널	64
수신기/ADC 채널	16

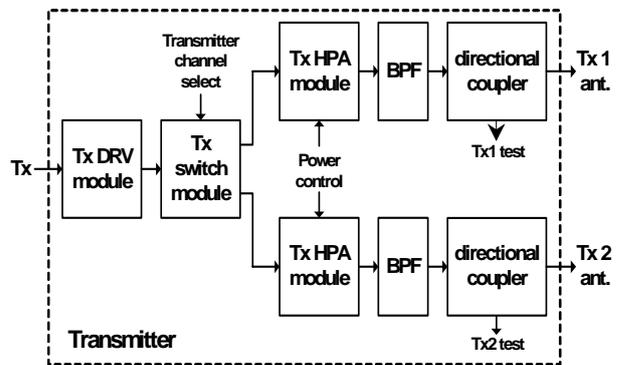


그림 2. 송신기 블록도

2. RF 대역 송신 결합체 설계

송신 결합체는 안테나를 통해 RF 신호를 송신하는 역할을 한다. 그림 1의 2 채널 선택 뱅크에서 대역폭이 1.6 GHz인 채널과 대역폭이 2 GHz인 채널 중에서 한 채널이 선택되면 이 초 광대역 신호를 그림 2와 같이 Tx DRV 증폭기로 신호를 증폭한 후 좌측이나 우측 경로를 결정하여 좌우 송신 채널을 결정한다. 만일 좌측 안테나로 송신할 때, 우측 안테나는 송신 신호가 없도록 송신기의 채널을 스위치로 선택할 수 있도록 설계하였다. 그래도 스위치의 isolation 값(대략 30 dB)만

큼 감소된 신호가 우측 안테나로 송신이 된다. 이를 방지하기 위하여 스위치가 선택되지 않은 채널의 고 전력 증폭기의 전원을 끊도록 하여 송신되는 신호가 거의 없도록 설계하였다. 그림 2에 송신기 블록도를 나타내었다.

3. RF 대역 수신 결합체 설계

수신 결합체는 영상을 합성하기 위해 1 열에 32 개의 수신 안테나를 사용하고, 인터페로그래를 적용하기 위해 상열과 하열의 2 열 구조로 구성되며 이로 인하여 수신 안테나 개수는 총 64 개가 된다. 수신기의 개수를 줄이기 위해 64 개의 안테나에 4:1 스위치를 적용하여 16 개의 수신기 채널로 설계하였다. 수신 안테나 1~4 번이 하나의 수신기에 연결되는데, 수신 안테나 1에서 들어오는 신호만을 탐지하기 위해서는 안테나 2, 3, 4에서 들어오는 신호는 60 dB 이상 억제해야 하는데 4:1 스위치가 정상 동작해도 30 dB 감쇠 특성 밖에 얻을 수 없기 때문에 수신 안테나 1에서 들어오는 신호에 안테나 2, 3, 4에서 30 dB 감쇠된 신호가 들어와 합성된 신호가 안테나 1에서 수신 신호가 된다. 따라서 안테나 2, 3, 4에서 수신되는 신호를 억제하기 위해 각각의 안테나와 4:1 스위치 사이에 On/Off 스위치를 하나 추가하여 수신 안테나 1의 데이터를 수신할 때 안테나 2, 3, 4에 연결된 스위치는 Off시켜 30 dB 추가 감쇠를 얻을 수 있었다.

초 광대역 레이더의 송신 안테나로부터 방사된 신호는 고정 물체에 의해 반사된 비트 주파수 신호가 수신 안테나로 들어온다. 저 잡음 증폭기에서 증폭된 신호는 송신 주파수 +20 MHz의 국부 신호에 의해 IF(Intermediate Frequency) 대역으로 하향 변환된다. 하향 변환된 신호는 그림 3의 대역 제한 필터(Band limitation filter)에 의해 근접 클러터 및 송신 누설 전력 성분이 제거되고 증폭기를 거친 신호는 DDC(Digital Down Converter)에 의해 기저대역으로 변환되어 비트 주파수 신호만 남는다. 그림 3에 수신기 블록도를 나타내었다.

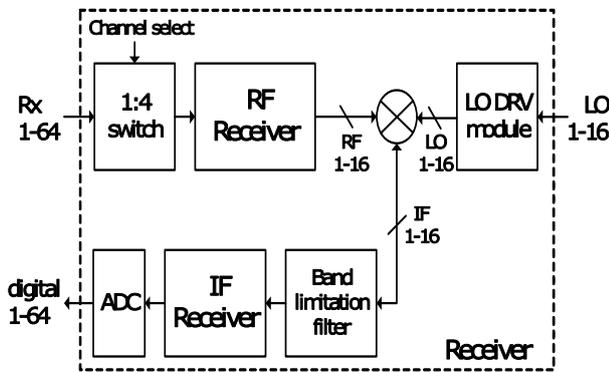


그림 3. 수신기 블록도

대역 제한 필터[9]는 저 대역 통과 필터(LPF, Low Pass Filter)와 대역 저지 필터로 이루어져 있으며, 대역 저지 필터

는 노치 필터를 포함하고, 대역 제한 필터는 수동과 능동 필터를 구분하지 않는다. 또한 그 동작 특성은 다음과 같다. 대역 제한 필터에 입력되는 주파수에 대한 전력 스펙트럼을 그림 4에 나타내었고, 그림에서 보아 알 수 있듯이 표적은 IF 주파수 왼쪽 영역, 송신 누설 전력은 거의 대부분이 IF 주파수 영역, 클러터는 IF 주파수 오른쪽 영역에 위치된다. 먼저 그림 5에 보인 것처럼 대역폭이 IF인 저 대역 통과 필터를 통과하면 송신 누설 전력 영역의 신호와 클러터 영역의 신호가 감쇠되고 그림 6에 보인 것처럼 중심 주파수가 IF이고 대역폭이 IF의 수 % 이내인 대역 저지 필터(노치 필터 포함)를 통과하면 송신 누설 전력 영역이 대략 수십 dB 감쇠하고 IF

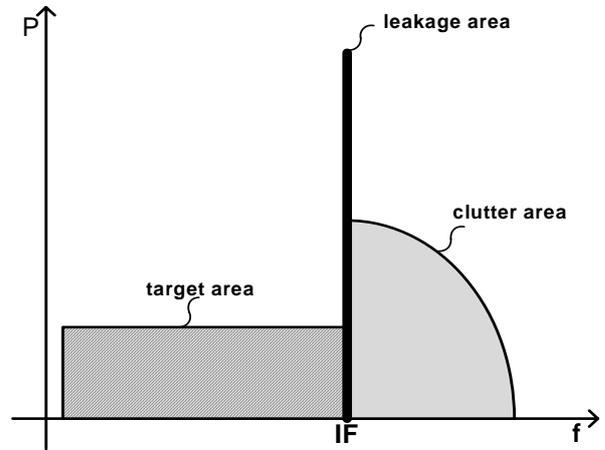


그림 4. 대역 제한 필터에 입력되는 전력 스펙트럼

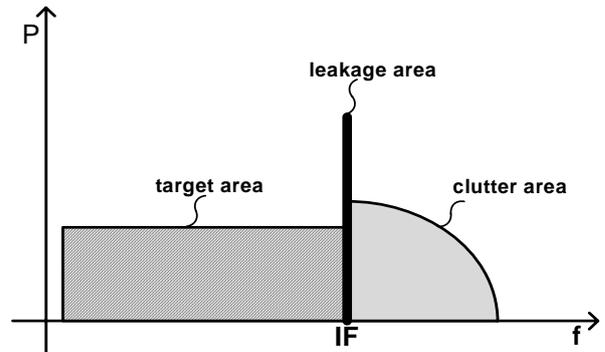


그림 5. 대역 제한 필터 내의 LPF 통과된 후, 전력 스펙트럼

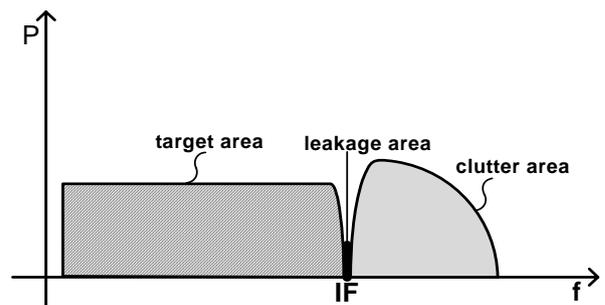


그림 6. 대역 제한 필터를 통과한 후, 전력 스펙트럼

주파수 근처의 표적 영역도 수 dB 정도 감쇠한다. 따라서 그림 4, 5, 6으로 설명했듯이 대역 제한 필터를 이용하여 클러터와 송신 누설 전력을 제거 또는 감쇠시킬 수 있다.

III. 실험 및 분석

설계된 송수신기를 산업용 부품을 사용하여 제작한 후 표 1과 같은 여러 가지 요구 조건을 만족하는지 여부를 실험을 통해 측정 및 분석한다. 제작된 송신 모듈의 제작 형상은 그림 7과 같다. 제작된 송신 모듈은 4 체배 모듈, 8 체배 모듈, 송신 고 전력 증폭기 모듈로 구성되어 있다.

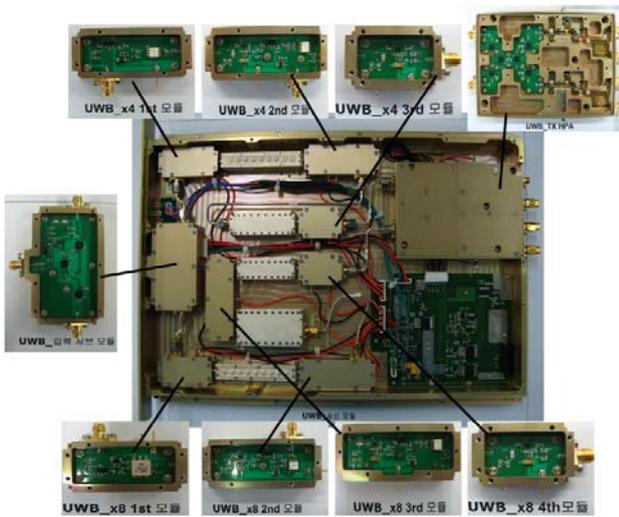


그림 7. 제작된 송신 모듈

1. LFM 파형 측정

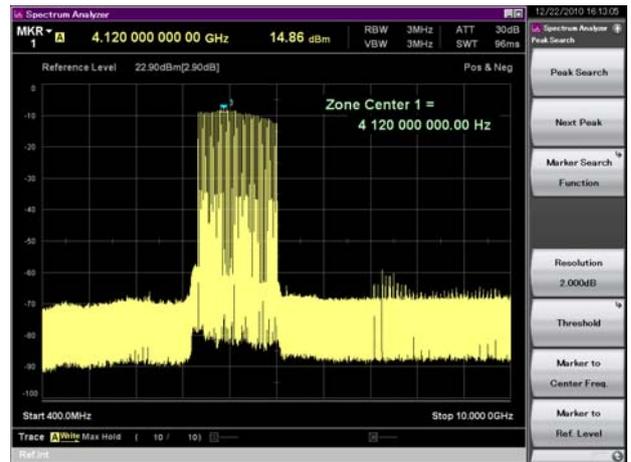
초 광대역의 LFM 신호를 만들기 위해 2.7 GHz 기준 주파수 입력을 사용한 DDS로부터 기본 LFM 주파수를 발생시켜 4 또는 8 체배하여 필요한 대역폭을 얻었으며, 식 (1)로부터 거리 해상도 10 cm를 만족하기 위해 대역폭은 1.5 GHz 이상이어야 한다.

$$BW \geq \frac{c}{2 \times R_{res}} \quad (1)$$

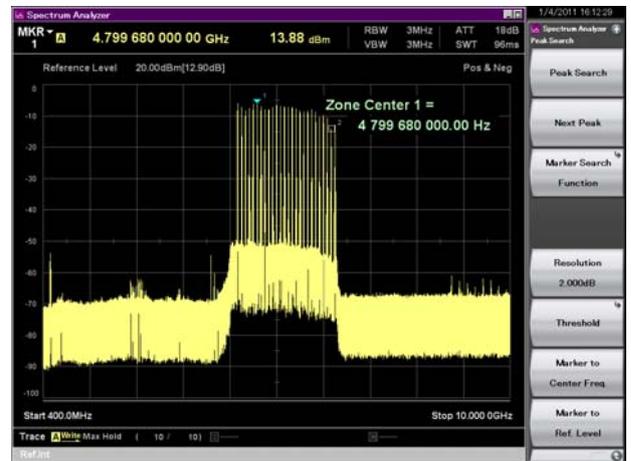
여기서 BW는 대역폭, c는 광속, R_{res} 는 거리 해상도이다.

채널 1은 4 체배하여 대역폭이 1.6 GHz인 LFM 파형을 얻었고, 채널 2는 8 체배하여 대역폭이 2.0 GHz인 LFM 파형을 얻었다. 채널 1은 기본 400 MHz의 LFM 신호에 2 체배하여 800 MHz의 LFM 신호가 되고 다시 2 체배하여 1.6 GHz의 LFM 신호가 되는 방식으로 주파수를 설정하였다. 채널 2는 기본 250 MHz의 LFM 신호에 2 체배하여 500 MHz의 LFM 신호가 되고 다시 2 체배하여 1.0 GHz의 LFM 신호가 되고 다시 2 체배하

여 2.0 GHz의 LFM 신호가 되는 방식으로 주파수를 설정하였다. 각각 2 체배할 때마다 체배 전 상위 주파수가 체배 후 하위 주파수보다 항상 작은 조건이 만족되도록 기본 LFM 주파수를 선정하였다. 그림 8의 (a)는 1.6 GHz 대역폭을 가지는 4 체배기의 출력 스펙트럼을 나타내었으며, 그림에서 볼 수 있듯이 1.6 GHz 대역폭의 LFM 신호로 출력 레벨의 차는 5 dB 미만의 결과를 얻었다. 그림 8의 (b)는 2.0 GHz 대역폭을 가지는 8 체배기의 출력 스펙트럼을 나타내었으며, 그림에서 볼 수 있듯이 2.0 GHz 대역폭의 LFM 신호로 출력 레벨의 차는 7 dB 미만의 결과를 얻었다.



(a) 4 체배기 LFM 신호 출력 측정 결과



(b) 8 체배기 LFM 신호 출력 측정 결과

그림 8. 초광대역 신호 출력 측정 결과

2. 송신 증폭기 출력 측정

지상 2 m의 높이에 장착되는 송수신 안테나 위치 때문에 지형으로부터 반사되는 전력 레벨이 낮아 송신 출력 전력이 높을수록 반사되는 수신 레벨이 높아져 유리하지만, 송신 안테나로부터 수신 안테나로 바로 입력되는 송신 누설 전력이 커져 수신기가 포화되기 때문에 송신 전력을 높게 할 수 없다. 따라서 송신 전력 레벨은 1 W(30 dBm) 미만으로 설계하였다. 그림 9에 채널 1과 2에 모두 포함되는 주파수인 5.2 GHz

의 출력 결과를 나타내었으며, 측정 결과는 설계치인 25 dBm보다 높은 28.33 dBm이었다.

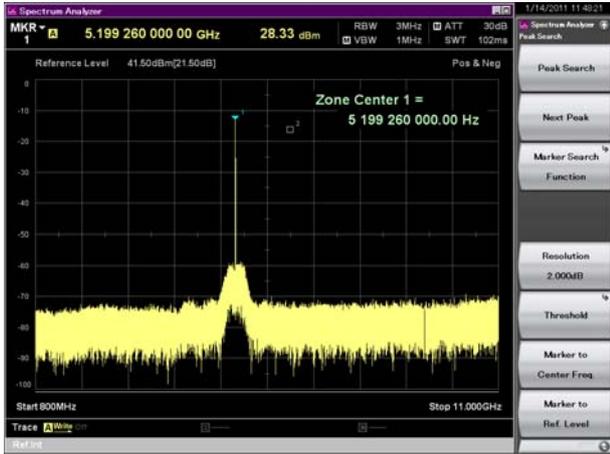


그림 9. 고전력 증폭기를 통과한 출력 전력 측정 결과

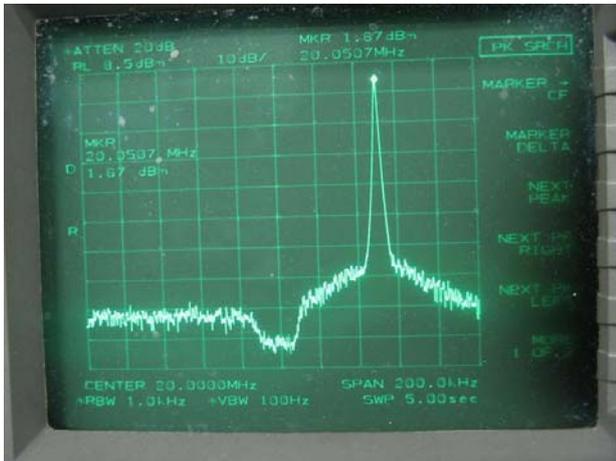


그림 10. 비트 주파수 50.7 kHz 신호가 측정된 결과

3. 수신 모듈 측정

수신기에 50.7 kHz 비트 주파수(식 (2))를 인가하여 A/D 입력에서 측정한 결과를 그림 10에 나타내었으며, 그림에서 보듯이 20.0507 MHz에서 1.67 dBm 레벨로 측정되었다.

$$f_b = \frac{2R}{c} \times \frac{BW}{\Delta t} \quad (2)$$

여기서 R은 거리, BW는 LFM의 대역폭, c는 광속, Δt는 LFM 발생 시간이다.

4. 파형 발생(DDS) 모듈 동기화 측정

수신기 설계에서 가장 중요한 부분으로 송신 DDS와 수신 DDS가 동기가 잘 맞아야 하는데 맞지 않으면 신호가 없어도 비트 주파수가 발생하여 표적이 발생하게 된다. 그림 11에 DDS 모듈의 동기화를 측정한 결과를 나타내었다. 그림에

서 앞부분 파형이 수신 DDS 신호, 뒷부분 파형이 송신 DDS 이인데, 이것은 수백 번 반복한 결과로 동기가 잘 맞고 있음을 알 수 있다.



그림 11. 대역 제한 필터를 통과한 후, 전력 스펙트럼

5. 대역 제한 필터 측정

제작된 수신기의 IF(20 MHz) 대역에서 노치 필터가 정상 동작하지 않도록 입력을 높게 한 경우와 실제 시스템에 입력될 수 있는 레벨에 맞게 입력한 경우에 대한 시험 결과를 그림 12와 13에 나타내었다. 그림 12에서 노치 필터에 의해 수신 신호가 완전히 제거 되지 않아 포화되지는 않았지만, 그림 13과 비교했을 때 노이즈 레벨이 전체적으로 상승했음을 알 수 있다. 그림 13의 원부분이 노치 필터에 의해 송신 누설 전력이 제거되었음을 알 수 있고, 대역 제한 필터에 의해 송신 누설 전력과 원하지 않는 클러터 등을 제거할 수 있음을 알 수 있다.

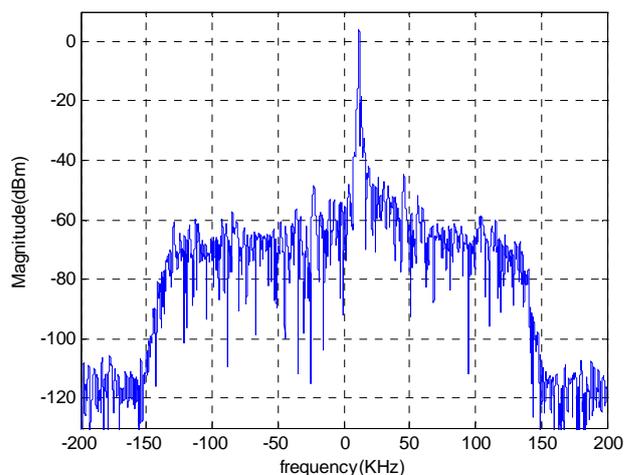


그림 12. 대역 제한 필터 적용 전 신호처리 결과

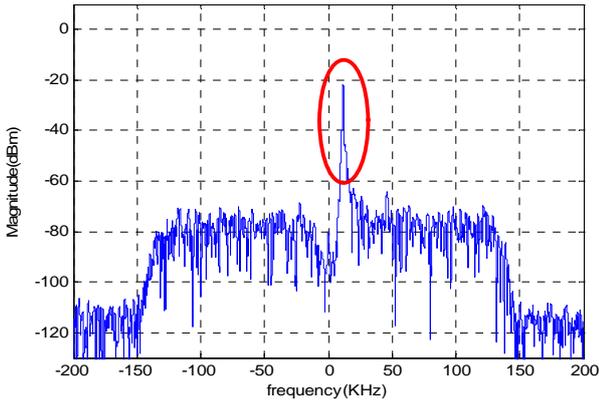


그림 13. 대역 제한 필터 적용 후 신호처리 결과

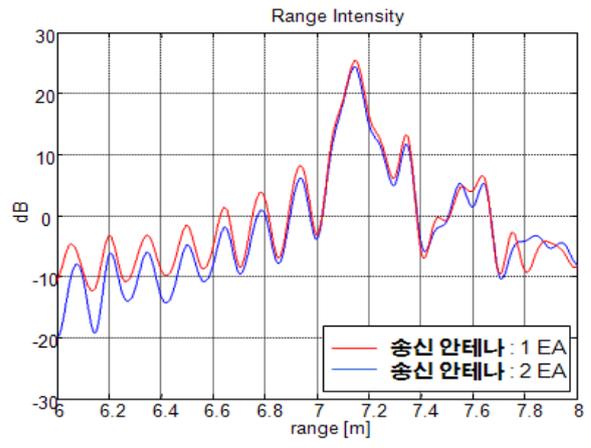


그림 15. 송신 안테나 개수에 따른 거리 분해능

6. 송신 안테나 개수에 따른 분해능 측정

일반적인 SAR 시스템은 하나의 송신 안테나에 하나의 수신 안테나로 이루어진 monostatic radar인데, 본 논문의 레이다는 좌우의 두개의 송신 안테나에 수신 안테나가 32개로 이루어진 bistatic radar로 전방 관측 레이다(Forward Looking Imaging Radar)라고 부른다. 송신 안테나를 좌측에 하나만 사용하는 경우와 송신 안테나를 좌측 및 우측에 하나씩 사용하는 경우에 대한 거리와 방위각 분해능(식 (3), [8])을 분석하였다.

$$\Delta\phi = \frac{R\lambda}{2L\cos^2(\theta_{az})} \quad (3)$$

여기서 R은 표적까지의 거리, λ 는 LFM의 중심 주파수의 파장, L은 안테나의 개구면 크기, θ_{az} 는 영상의 방위각 영역이다.

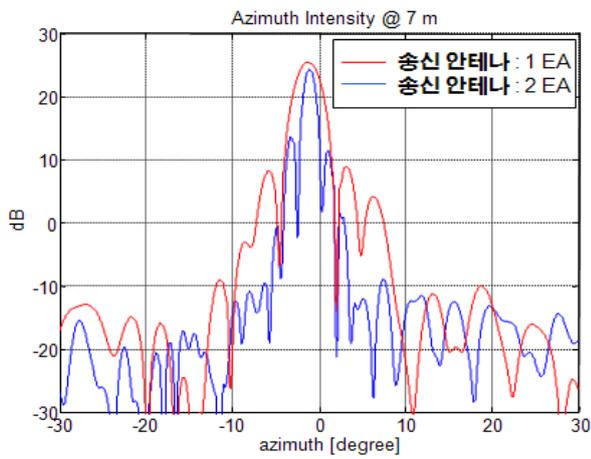


그림 14. 송신 안테나 개수에 따른 방위각 분해능

IV. 결론

이 논문에서는 무인 차량의 전방에 장착하여 야지 자율 주행에 사용될 수 있는 전방 관측용 초 광대역 합성 개구 레이다의 송수신기 설계 및 실험에 대해 기술하였다. 레이다 센서의 경우 주파수에 따라 수풀을 투과하는 특성이 달라지므로 야지에 존재하는 수풀을 투과할 수 있는 레이다를 무인 차량에 장착할 경우, CCD 센서, IR 센서 및 Laser Radar 센서가 갖지 못하는 장점이 있어 자율 주행에 큰 기여를 할 수 있다. RF 대역 송신 결합체는 DDS로부터 발생된 UHF/VHF 대역의 신호를 4 체배나 8 체배하여 고 전력 증폭기로 전력 증폭한 후 좌측 및 우측 송신 안테나를 거쳐 방사한다. 64 개의 수신 안테나를 통해 지상으로부터 반사된 수신 신호는 저 잡음 증폭기에 입력, 하향 변환되어 영상 신호처리 될 수 있도록 신호처리기에 제공된다. 초 광대역 송수신기는 모델링 및 시뮬레이션 과정을 통해 각 구성품의 이득 및 잡음 특성 등을 예측하여 설계하였고, 산업용 RF 구성품들을 사용하여 설계된 송수신기를 제작하였으며 제작 후 각 모듈별로 요구조건을 만족하는지 여부를 측정 및 분석하였다. 이 연구 결과는 초 광대역 레이다에 적용되어 근거리 전방 관측 레이다를 위해 사용되었으며 그 효용성을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] B. Edde, Radar principles, Technology, applications, NJ: Prentice Hall, 1993.
- [2] M.I. Skolnik, Introduction to radar systems, 3rd Ed. McGraw-Hill, 2001.
- [3] J. C. Curlander, R. N. McDonough, Edde, Synthetic Aperture Radar: System and Signal Processing, John Wiley and Sons, New York, 1991.
- [4] 광영길, "위성 탑재 영상 레이더 기술 동향", 전자공학회지, 34(11), pp. 61-74, 2007년 11월.
- [5] L. Nguyen, M. Sourmekh, "System trade analysis for an ultra-wideband forward imaging radar", Proc. SPIE, vol. 623003-1~623003-11, 2007.
- [6] 선선구, 조병래, 박규철, 남상호, "무인 차량 탑재형 전방 관측 영상 레이다 가능성 연구", 한국전자과학회논문지, 21(11), pp. 1285-1294, 2010년 11월.
- [7] L. Nguyen, D. Wong, B. Stanton and G. Smith, "Forward imaging for obstacle avoidance using ultra-wideband synthetic aperture radar", Proc. SPIE, vol. 5083, pp. 519-528, 2003.
- [8] G. Krieger, et. al. "Sector imaging radar for enhance vision", Aerospace science and technology, vol. 7, pp. 147-158, 2002.
- [9] 박규철, 하중수, 이정수, "클러터와 송신 누설 전력 제거가 가능한 레이더", 특허청, 특허번호 10-0851888, pp. 1-7, 2008년 8월.

저자

박 규 철(Gyu-Churl Park)



- 1989년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2010년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)

· 1991년 2월~현재 : 국방과학연구소 책임연구원
 <관심분야> : 레이더 시스템 설계, 레이더 송수신기 설계, 레이더 신호처리, 영상 레이더 등

선 선 구(Sun-Gu Sun)



- 1987년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

· 1989년 2월~현재 : 국방과학연구소 책임연구원
 <관심분야> : 레이더 신호처리, 영상 레이다, 컴퓨터 비전

조 병 래 (Byung-Lae Cho)



- 1999년 2월 : 경북대학교 전자전자공학부(공학사)
- 2001년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과(공학석사)
- 2005년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과(공학박사)

· 2005년 3월~2006년 1월: 포항공과대학교 전자전기공학과 연구원
 · 2006년 1월~현재 : 국방과학연구소 선임연구원
 <관심분야> : 레이더 신호처리, 영상 레이더 등

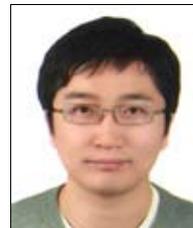
이 정 수 (Jung-Soo Lee)



- 2000년 2월 : 충남대학교 전파공학과 (공학사)
- 2002년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과(공학석사)
- 2002년 3월~2005년 12월: LG 전자 연구원

· 2006년 1월~현재 : 국방과학연구소 선임연구원
 <관심분야> : 안테나 설계, 영상 레이더 등

하 중 수 (Jong-Soo Ha)



- 2001년 2월 : 고려대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 3월~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야> : UWB 레이더 시스템, 펄스 도플러 레이더 시스템, 시스템 M&S, 영상 신호처리