

무인 차량 탐재형 전방 관측 영상 레이다 가능성 연구

Feasibility Study of Forward-Looking Imaging Radar Applicable to an Unmanned Ground Vehicle

선선구 · 조병래 · 박규철 · 남상호*

Sun-Gu Sun · Byung-Lae Cho · Gyu-Churl Park · Sang-Ho Nam*

요 약

무인 차량의 야지 자율 주행을 위한 목적으로 수풀 뒤쪽에 가려져 있는 장애물을 탐지하고 회피하기 위해 수풀을 투과하여 차량의 전방을 고해상도로 영상화 할 수 있는 근거리 초광대역 영상 레이다를 설계한다. 광대역 특성에 적합하고 배열 구성이 용이한 소형 평판형 비발디 안테나를 설계하고 방사 패턴 및 정제파비를 측정한다. 영상의 거리 해상도를 기준으로 대역폭을 분석하고, 방위각 해상도를 기준으로 수신용 배열 안테나를 설계한다. 수신용 배열 안테나의 간격과 영상 해상도 및 표적의 신호 중첩 관계를 분석한다. 수풀로부터 반사되는 신호를 수신하기 위해 회로망 분석기를 이용하여 계단 주파수 파형을 사용하는 합성 개구면 레이다를 구성한다. 제안한 방법은 수풀에서 코너 반사기를 위치시키고 이것의 반사 신호를 영상화함으로써 수풀의 투과 특성 및 레이다 영상의 해상도를 분석하여 무인 차량에 적용가능성을 보인다.

Abstract

This study describes the design and verification of short range UWB(Ultra Wideband) 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. We describe the relationship between bandwidth of transmitting signal and range resolution. A vivaldi antenna is designed and its radiation pattern and reflection are measured. It is easy to make array antenna because of small size and thin shape. Aperture size of receiving array antenna is determined by azimuth resolution of radar image. The relation of interval of receiving antenna array, image resolution and aliasing of target on a radar image is analyzed. A vector network analyzer is used to obtain the reflected signal and corner reflectors as targets are positioned at grass field. Applicability of the proposed radar to UGV is proved by analysis of image resolution and penetrating capability for grass in the experiment.

Key words : Back Projection, Forward Imaging Radar, Synthetic Aperture Radar, Ultra Wideband, Vivaldi Antenna

I. 서 론

레이더는 군사용 목적으로 발명된 이래 장거리 표적의 탐지 및 추적용 레이다 위주로 발전하고 있으나, 현재에는 합성 개구면 영상 레이다, 민수 분야

에서의 차량 충돌 방지 레이다 및 의료용 바이오 영상 레이다 및 무인 차량의 장애물 회피용 영상 레이다 분야에 이르기까지 그 사용이 널리 확대되고 있는 추세이다. 무인 차량이 야지 자율 주행을 할 때 차량의 전방 및 주변에 대한 지형 정보, 즉 장애물,

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

*삼성탈레스(Samsung Thales)

· 논문 번호 : 20100829-106

· 교신저자 : 조병래(e-mail : chobl@add.re.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 10월 11일

웅덩이 및 바위와 같은 지형의 만곡에 대한 정보 획득을 위해서 영상 센서, 적외선 센서, 레이저 레이다 센서 및 영상 레이다가 복합적으로 사용될 수 있다. 레이다는 다른 센서와 달리 주파수 선택에 따라 수풀을 투과할 수 있는 능력을 가질 수 있어 다른 센서들의 단점을 보완할 수 있는 장점이 있다.

무인 차량에 장착될 전방 관측 영상 레이다를 개발하는 것은 매우 도전적인 과제로 국내에는 개발된 적이 없고, 해외에서도 미국의 ARL(Army Research Lab) 연구소에서 SIRE(Synchronous Impulse Reconstruction) UWB 레이다 시스템을 연구하고 있으며, 아직 실용화 되지 못하고 있다^{[6]~[8]}. 전방 관측 영상 레이다에 대한 연구는 독일의 DLR 연구소에서 헬리콥터의 이착륙을 보조하는 시스템으로 연구한 SIREV (Sector Imaging Radar for Enhanced Vision) 레이다 시스템이 있다^[9].

마이크로파를 이용하여 수풀을 투과하여 수풀 뒤에 있는 물체를 영상화하기 위해서는 S 밴드(2~4 GHz) 이하 대역의 저주파 신호를 이용하고 정밀한 거리 해상도 및 방위각 해상도를 얻기 위해서는 배열형 수신 안테나를 장착하여 광대역 영상 레이다를 설계해야 한다^{[7],[8]}.

본 논문에서는 위에서 설명한 무인 차량의 자율 주행을 위해 사용될 수 있고, 수풀 투과가 가능한 바이 스태틱(bi-static) 전방 관측 영상 레이다를 설계한다. 먼저 소형의 무인 차량에 장착 가능한 레이다의 시스템 설계 요구 조건을 도출하고, 이것으로부터 레이다의 형상 설계 및 영상 해상도와 관계, 주파수 대역별 감쇄 데이터 분석, 송신기 위치에 따른 영상 해상도, 안테나 설계, 수신 안테나 배열의 크기 및 안테나 간 간격을 따른 해상도를 시뮬레이션 및 실측 데이터를 통해 분석한다. 설계된 비발디 안테나를 제작하고 제작한 안테나와 회로망 분석기를 사용하여 계단 주파수를 송신하는 레이다를 구현한다. 코너 반사기를 표적으로 사용하여 이것을 수풀 뒤에 위치시키고 제안한 방법의 레이다를 사용하여 광대역 신호를 획득하여 제안한 레이다의 효율성을 입증한다. II장에서는 무인 차량의 자율 주행에 적합한 수준의 레이다 시스템 요구 조건 및 시스템 설계 파라미터에 대해 분석하여 전방 관측 영상 레이다 설계에 대해 기술하고, III장에서는 수풀에서의

데이터 획득 및 영상화 실험 및 분석에 대해 기술하며, IV장에서 결론을 맺는다.

II. 레이다 시스템 설계

이 레이다는 무인 차량의 전방에 장착하여 운행하여야 하므로 수신 안테나의 높이는 1.3 m 미만으로 정하였다. 수풀 투과 특성을 고려하여 주파수 대역을 정하였으며, 고해상도 영상 획득을 위하여 광대역의 주파수 대역폭을 정하였다. 방위각 해상도 향상을 위하여 송신 안테나를 좌, 우 양쪽에 배치하였다^[8].

2-1 수풀 투과를 위한 주파수 대역 분석

수풀 지역에서의 마이크로파의 감쇄량을 측정하는 것은 수풀의 밀도, 수분함유량 및 풀의 두께, 안테나 측정 각도 등에 많은 영향을 받기 때문에 정확히 측정하는 것은 매우 힘들다. F. T. Ulaby^[10]는 밀밭에서의 마이크로파의 감쇄량을 측정했을 때 4.7 GHz의 주파수를 사용하고, 수직 편파를 사용할 경우 감쇄량이 약 30 dB인 것으로 분석하였다. 미국의 ARL 연구소에서는 수풀을 투과할 목적으로 사용되는 레이다의 경우 S 밴드의 주파수보다 높은 경우 대부분의 신호가 반사된다고 분석했다^[7].

레이다 설계를 위해 국내 수풀 지역에서의 마이크로파의 감쇄량을 그림 1과 같이 시스템을 구성하여 측정하였다. 총 6회에 걸쳐서 3개의 다른 장소에 대해 여름 및 가을철에 측정된 감쇄량의 평균 및 편차는 그림 2와 같다. 그림 2의 그래프에서 가로축은 주파수를 나타내고 세로축은 한 방향(one way) 감쇄량을 나타낸다. 안테나는 광대역 비발디 안테나를

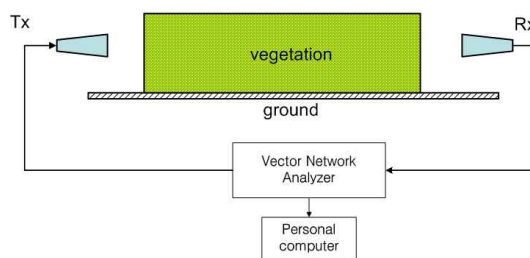


그림 1. 수풀 투과 특성 측정을 위한 장비 구성
Fig. 1. Equipment configuration for measuring vegetation penetration characteristic.

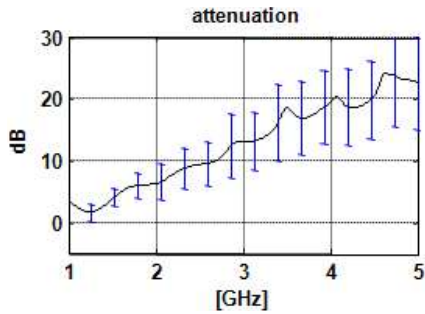


그림 2. 마이크로파의 수풀에서의 감쇄 데이터 측정 결과
 Fig. 2. Measurement result of microwave attenuation on grass field.

사용하였고, 측정 장비로 회로망 분석기를 사용하였다. 안테나의 편파는 수직 편파를 사용하였고, 안테나의 거리는 10 m이었다. 1~5 GHz까지 측정한 감쇄량 측정 시험에서 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 5 GHz의 감쇄량은 한 방향 기준으로 최대 30 dB 수준이었다.

따라서 문헌조사 및 시험 측정 결과를 바탕으로 무인 차량의 전방에 장착하여 수풀을 투과할 마이크로파의 수신 신호를 획득하기 위한 주파수 대역을 2~5 GHz로 정한다.

2.2 거리 및 방위각 해상도 분석

일반적으로 레이다의 거리 해상도 ΔR 은 식 (1)과 같이 정의된다^[1].

$$\Delta R = \frac{c}{2B} \quad (1)$$

식 (1)에서 B 는 신호의 대역폭을 의미하며, c 는 빛의 속도를 의미한다. 정확한 거리해상도를 얻기 위해서는 대역폭을 크게 할 필요가 있다. 예를 들어 중심 주파수가 4 GHz이고, 대역폭이 $f_{\min}=3$ GHz이며, $f_{\max}=5$ GHz일 경우 거리해상도는 7.5 cm이다.

합성 개구면으로 수신 안테나를 구성할 경우, 레이다 영상의 방위각 해상도 Δx 는 식 (2)와 같이 계산된다.

$$\Delta x = \frac{R\lambda}{L \cos^2 \theta} \quad (2)$$

식 (2)에서 λ 는 송신 파형의 파장을 나타내고, L

은 합성 개구면 안테나의 크기를 나타낸다. R 은 레이다에서 표적까지의 거리이며, θ 는 레이다에서 표적까지의 기울어진 각도이다. 방위각 해상도를 키우기 위해서 송신 안테나를 좌, 우측에 두어 각각 안테나에서 얻은 영상 정보를 결합할 경우, 방위각 해상도는 식 (3)과 같이 2배 증가한다^[7].

$$\Delta x = \frac{R\lambda}{2L \cos^2 \theta} \quad (3)$$

이와 같은 영상 결합에 의한 방위각 해상도 향상에 대한 실험을 III장에서 증명한다. 합성 개구면 안테나의 크기를 1.4 m로 하고, 4 GHz 중심 주파수에서 방위각 해상도는 합성 개구면 안테나의 중앙에서 약 3.07° 이며, 송신 안테나 좌, 우측에 두어 영상을 결합한 경우는 약 1.53° 가 된다^[7].

2.3 초광대역 안테나 설계

안테나 설계 측면에서 보면, 기존의 안테나와는 달리 초광대역(ultra wide band) 안테나 설계 시에는 여러 가지 제약 사항을 고려해야 한다. 초광대역 안테나는 매우 넓은 광대역 특성을 갖는다. 초광대역의 정의는 식 (4) 및 (5)와 같이 두 가지 방법으로 정의된다^[11].

$$B = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} > 0.2, \quad (4)$$

$$B = f_H - f_L > 500 \text{ MHz} \quad (5)$$

식 (4) 및 (5)에서 f_H 및 f_L 은 각각 최고 동작 주파수 및 최저 동작 주파수를 나타낸다. 기존의 협대역 안테나와 비교할 때 초광대역 안테나 시스템을 설계하는 것은 매우 어려운 과제이며, 광대역을 만드는 것과 좋은 임피던스 매칭, 작은 크기, 저 비용, 높은 방사 효율, 최소 산란에 대해 취사 선택의 문제이다. 초광대역 안테나 형태에는 혼 안테나를 비롯한 여러 가지 형태가 있으나, TSA(Tapered Slot Antenna)에 속하는 비발디 안테나는 광대역 특성과 비교적 높은 지향성, 그리고 평판형으로써 초박형, 소형, 경량 특성을 갖는다. 제안한 시스템에 적용할 수 있는 적절한 안테나의 결정 인자로는 정재파비로 표시되는 결합 조건(넓은 임피던스 대역폭), 안테나 효율, 송신

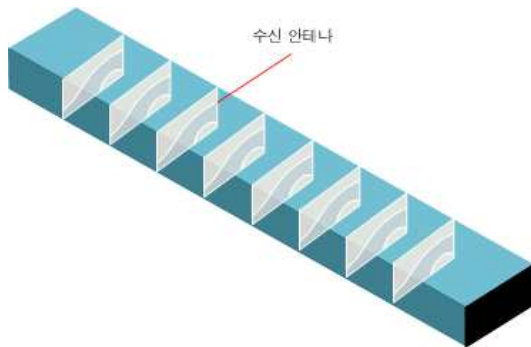
기로 부터 파형의 왜곡 없이 전달하기 위한 복사 패턴, 복사 패턴에 의해서 나타나는 주파수 독립인 주빔(mainlobe) 특성, 안테나 전달 함수로 표현되는 군지연(group delay) 및 이득 평탄도(gain flatness) 등이 있다.

제안한 안테나는 2~5 GHz의 동작 주파수 대역, 2:1의 정재파비, 70° 이상의 방위각 빔 폭, 50° 이상의 고각 빔 폭 및 5 dBi의 이득을 갖도록 설계하였다. 설계한 내용을 토대로 안테나를 제작하고, 위에서 기술한 요구 조건들을 측정하여 이를 만족함을 확인하였다. 그림 3의 (a)는 제작한 초광대역 안테나의 형상을 나타내고 있다. 제작한 안테나에 대한 정재파 측정 결과 2~5 GHz 주파수에서 2:1 이하로 안정된 반사 특성을 가짐을 알 수 있었다.

그림 3의 (b)는 무인 차량에 탑재하기 위한 수신 안테나 어레이 구조를 보여주고 있다. 수신 안테나 어레이에서 동시에 수신된 신호를 이용하여 합성 개구면을 형성하게 된다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 초광대역 비발디 안테나 형상, (b) 수신 안테나 어레이 구조

Fig. 3. (a) Configuration of the developed vivaldi antenna with ultra wideband, (b) Structure of the received antenna array.

2.4 영상화 신호처리

레이다의 합성 개구면에 수신된 신호를 영상화하는 방법에는 back projection 알고리즘, ω - k 알고리즘, range Doppler 알고리즘 등 다양한 방법이 있다^[12]. 이 가운데 back projection 방법은 구현이 간단하고 직접적인 방법인 반면에 알고리즘 수행시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 그러나, 이 연구에서는 실시간 수행 능력을 배제한 레이더 구현 가능성을 확인하는 것이므로 back projection 방법을 사용한다. 합성 개구 레이더 개념에서 레이더와 표적 간의 시선 각도는 그림 4와 같이 시간에 따라 변하고, 레이더는 수신 신호의 시퀀스를 수집하여 영상 정보를 생성한다. Back projection 알고리즘에서 영상 형성 과정은 각 안테나에서 수신된 신호를 모두 합해서 거리 및 방위각 방향으로 고해상도의 영상을 형성한다. 레이더가 N 개의 신호 수신 위치를 갖는 합성 개구면을 따라 방위각 방향으로 움직일 때 k 번째 위치에서의 레이더의 위상 중심은 $(x_{r_k}, y_{r_k}, z_{r_k})$ 의 좌표계를 갖는다. 안테나 위치 k 번째에서 수신 신호는 그림 4와 같이 $s_k(n)$ 이다. 영상 그리드에서 i 번째 거리 및 j 번째 방위각 픽셀의 좌표는 $(x_{p_{ij}}, y_{p_{ij}}, z_{p_{ij}})$ 이다. 그 픽셀의 값은 합성 개구면을 따라 모든 안테나에서 수신된 신호를 동일한 위상으로 합하는 것으로 식 (6)과 같이 계산된다.

$$P(i, j) = \sum_{k=0}^{N-1} \omega_k \cdot s_k(g(i, j, k)) \tag{6}$$

여기서 $g(i, j, k)$ 는 수신 신호 $s(k)$ 의 변환지수(shift in-

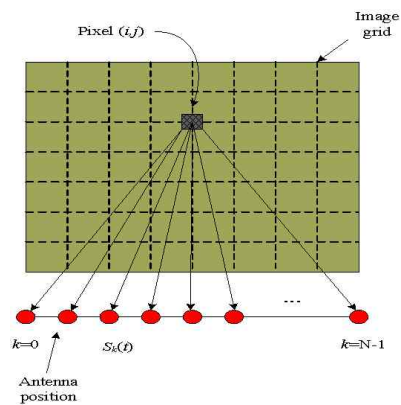


그림 4. Back projection 방법의 영상 형성 개념
Fig. 4. Conceptual representation of image formation by back projection method.

dex)를 나타내고, $s(k)$ 및 ω_k 는 k 번째 안테나에 대한 수신 신호 및 가중치를 나타낸다. 변환지수 $g(i, j, k)$ 를 계산하기 위해 레이다와 현재 픽셀의 위치 $P(i, j)$ 까지의 거리는 식 (7)과 같이 계산된다.

$$R_{i,j,k} = \frac{\sqrt{(x_{r_k} - xp_{i,j})^2 + (y_{r_k} - yp_{i,j})^2 + (z_{r_k} - zp_{i,j})^2}}{\sqrt{(xt - xp_{i,j})^2 + (yt - yp_{i,j})^2 + (zt - zp_{i,j})^2}} \quad (7)$$

여기서 (xt, yt, zt) 는 송신 안테나의 좌표이다. 안테나의 위상 중심과 픽셀 간에 빛의 왕복 시간은 식 (8)과 같이 계산한다.

$$t_{i,j,k} = \frac{R_{i,j,k}}{c} \quad (8)$$

여기서 c 는 빛의 속도이다. 식 (7)과 (8)을 이용하여 식 (6)의 지수 $g(i, j, k)$ 는 식 (9)와 같이 계산한다.

$$g(i, j, k) = \frac{t_{i,j,k} - t_a}{t_s} \quad (9)$$

여기서 t_a 는 신호 획득 지연 시간으로 신호가 송신되고 수신 신호가 이산 신호로 바뀔 때까지의 시간이며, t_s 는 거리 방향의 샘플링 주기이다. s_k 가 이산 신호 이므로 지수 $g(i, j, k)$ 는 가장 근사한 정수로 반올림되어야 한다. s_k 의 샘플링 속도가 영상의 샘플링 속도보다 빠르면 이 접근 방법은 타당하다. 그렇지 않으면 back projection 알고리즘이 수행되기 전에 상향 샘플링되어야 한다.

2-5 검증용 시스템 구현

앞에서 언급한 시스템의 구현 가능성을 확인하기 위하여 그림 5와 같이 시스템을 구성하였다. 회로망 분석기를 통해 송신, 수신하였으며, 그림 3(a)의 비발디 안테나를 송, 수신 안테나로 사용하였다. 송신 안테나는 수신 안테나 배열의 좌, 우에 설치하였다. 송신 안테나는 고정되어 있으며, 수신 안테나는 정의된 간격에 따라 움직이면서 RF 데이터를 수신하는 바이 스태틱(bi-static) 합성 개구면 레이다(synthetic aperture radar)를 구성하였다. PC는 원시 데이터를 저장하고 영상 형성 알고리즘을 수행한다.

III. 실험 및 분석

그림 5에서 제안된 레이다 시스템을 이용하여 운

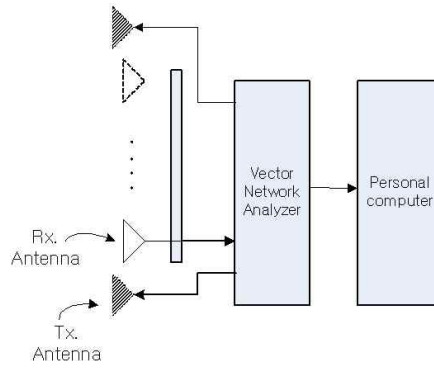
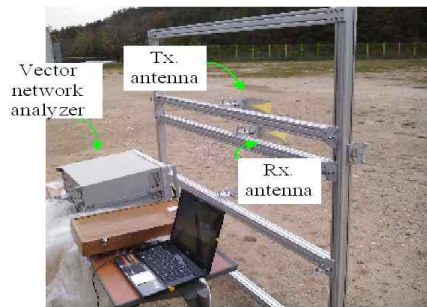
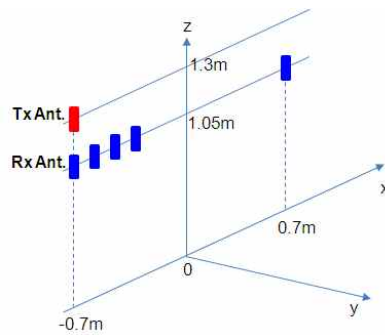


그림 5. UWB 바이스테틱 SAR 레이다의 구성
Fig. 5. Configuration of UWB bi-static SAR radar.



(a)



(b)

그림 6. (a) 시험 장비 설치 및 환경, (b) 실험에 사용한 좌표계

Fig. 6. (a) Test equipments and enviroment, (b) Coordinate used in the test.

동장에서 영상 실험을 실시하였다. 그림 6(a)와 같이 시험 환경을 구축하고, 그림 6(b)와 같이 송신 안테나 높이는 1.3 m, 수신 안테나 높이는 1.15 m로 장착하고 수신 안테나를 순서적으로 좌에서 우로 정해진 간격으로 약 1.4 m를 이동시켜 합성 개구면을 구성한다.

시험에 사용한 회로망 분석기의 송신 주파수는 3 ~5 GHz이며, 계단 주파수 구성을 위한 주파수 측정 개수는 801개이었다. 점 표적으로 높이가 20 cm인 코너 반사기를 사용하였다. 코너 반사기를 전방 7 m 위치에 1개를 두고, 그것의 좌, 우측에 약 25° 각도로 1개씩 두어 총 3개의 코너 반사기를 점 표적으로 사용하였다. 레이더 영상 신호 처리는 위에서 설명한 back projection 방법을 사용하였다.

3-1 두 개의 송신기를 사용한 방위각 해상도 분석

일반적인 합성 개구면 레이더에서는 데이터를 수집하는 모든 위치에서 송, 수신이 되는 mono-static 레이더인 경우가 많다. 그러나 송신 안테나를 고정

하고 수신 안테나를 이동시키는 bi-static 레이더의 경우에는 방위각 해상도가 mono-static의 경우에 비해 2배 나빠진다. 하지만, 송신 안테나를 2개 장착 하였을 경우 일반적으로 SAR에서 수집하는 것과 같이 식 (3)으로 계산된 방위각 해상도를 얻을 수 있다. 그림 7(a)는 송신 안테나를 중심에 한 개 두었을 경우 레이더 영상이며, 그림 7(b)는 송신 안테나를 좌측 -0.7 m 및 우측 0.7 m 위치에 두어 얻어진 신호를 결합하여 형성한 레이더 영상이다. 그림 7(a), (b) 영상에서 전방 7 m에 위치한 표적의 방위각 방향으로 신호 세기는 각각 그림 7(c)와 (d)이다. 예측한 바와 같이 (d)에서 최고 신호 세기 기준 3 dB 해상도가 (c)에 비해 1/2 수준임을 알 수 있다. 그림 7(a)의 경우 방위각 정확도는 약 2.8°로 측정되었으며, 식 (2)

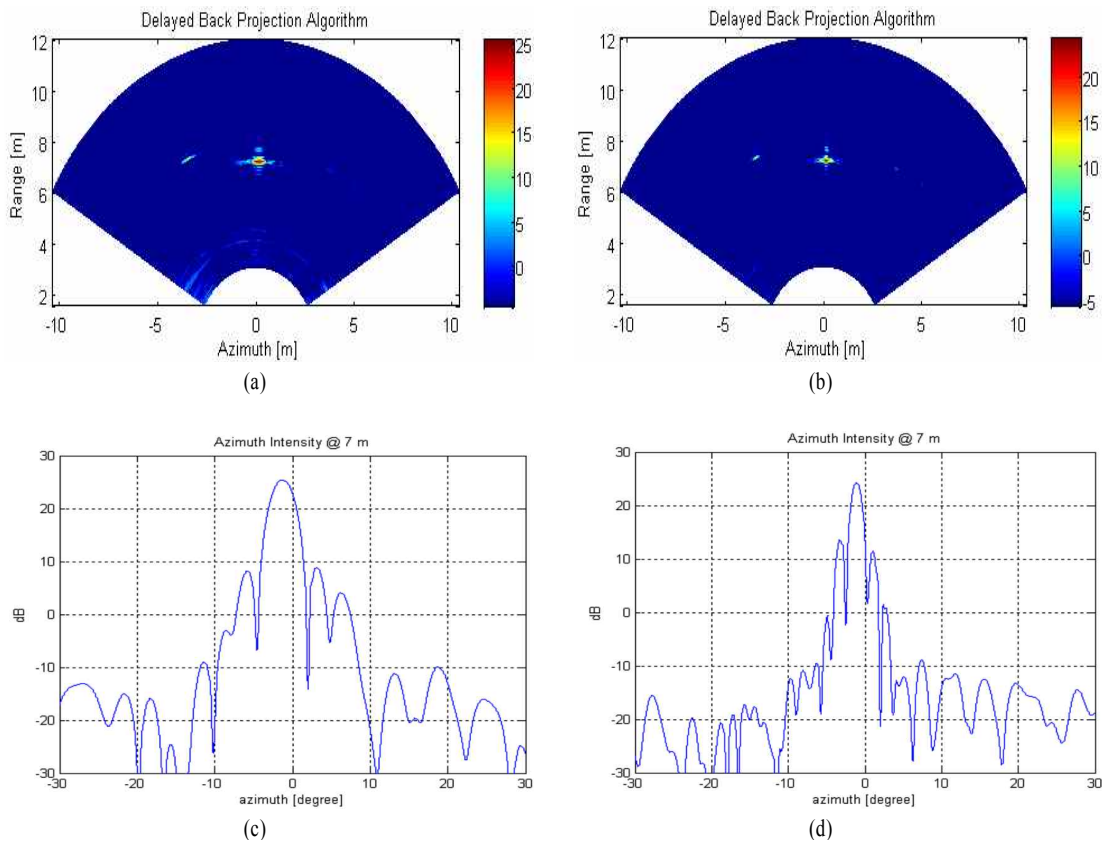


그림 7. (a) 1개의 송신 안테나 사용한 영상, (b) 좌, 우 2개의 송신 안테나를 사용한 영상, (c) 영상 (a)의 7 m 표적의 방위각 방향 수신 신호, (d) 영상 (b)의 7 m 표적의 방위각 방향 수신 신호

Fig. 7. (a) Image in the case of one transmitting antenna, (b) Image in the case of two transmitting antennas, (c) Received signal of azimuth direction with one transmitting antenna at 7 m, (d) Received signal of azimuth direction with two transmitting antenna at 7 m.

로 계산할 경우 약 3.07° 수준이다. 거리 해상도는 측정 결과 약 5 cm의 정확도를 갖는 것으로 측정되었으며, 식 (1)을 이용할 경우 약 7.6 cm로 계산되었다.

3-2 수신 안테나 간격에 따른 영상의 영향 분석

수신 배열 안테나를 설계할 경우, 배열 개구면의 크기뿐만 아니라 그 개구면에 위치하게 되는 안테나의 간격 또한 중요한 설계 요소이다. 안테나 배열 간격이 최소 주파수의 반 파장보다 크게 설정되면 원하는 방향으로 빔을 조향을 하였을 경우, 원하는 빔뿐만 아니라 grating lobe라고 하는 원하지 않는 빔이 생성되게 된다. 이는 DSP 이론에서 이야기하는 sampling 이론과도 밀접한 관계가 있다^{[1],[2]}.

안테나의 빔 패턴을 도시하는 경우, 개구면에서의 전계를 푸리에 변환하였을 경우 빔 패턴을 얻을 수 있다. 이 경우 개구면이 크면 클수록 빔 패턴은 세밀해지게 된다. 하지만 개구면 내에 전계가 드물게 위치하였을 경우(공간 상에 안테나 복사 소자가 under sampling 되었을 경우) 신호 중첩(alising) 현상과 유사하게 grating lobe가 발생하게 된다.

그림 7의 시험에서의 실험 결과는 안테나 간격이 2 cm인 경우이다. 방사한 주파수가 3~5 GHz이므로 파장은 10~6 cm이다. 따라서 모든 안테나 간격이 반파장 이내이기 때문에 관심 영역 내에서 신호의 중첩현상은 나타나지 않았다. 반면, 안테나 간격을 8 cm 및 16 cm로 했을 경우에 대해 생성된 영상을 그림 8에 보였다. 그림 8(a)는 안테나 간격이 8 cm일 경우이고, (b)는 안테나 간격이 16 cm일 경우이다. 중심 표적에 대해서는 유사 개구면 크기(1.36 m 및 1.28 m) 내에서 모두 유사한 방위각 및 거리 해상도가 나타났다. 하지만 예상대로 중심 표적에 대해서 grating lobe가 발생한 것을 확인할 수 있었다. 안테나 간격이 커질수록 grating lobe가 실제 표적 가까이 접근하는 것을 알 수 있다.

신호의 중첩에 의한 grating lobe가 발생한 위치를 검증해 보기 위해서 안테나 간격이 8 cm 및 16 cm인 경우에 대해 배열 안테나의 빔 패턴을 중심 주파수 4 GHz로 시뮬레이션한 것을 그림 9(a), (b)에 도시하였다. 그림 9(a) 및 (b)에서 배열 간격이 커질수

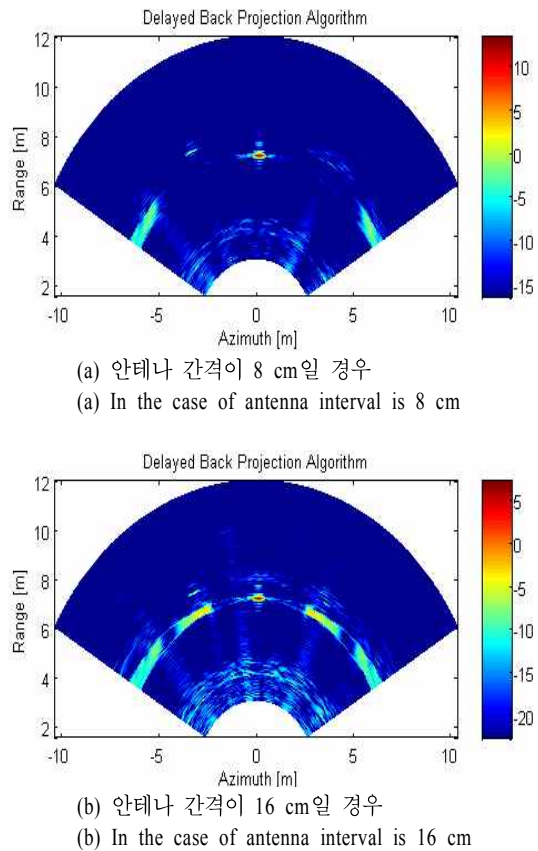
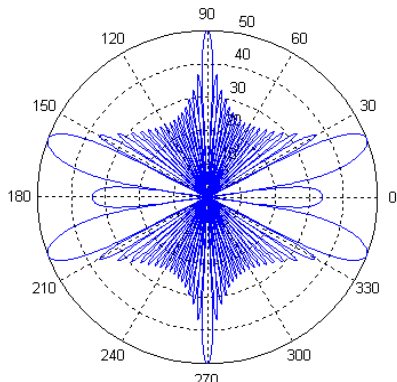


그림 8. 7 m 거리 표적 영상
Fig. 8. Image of 7 m target.

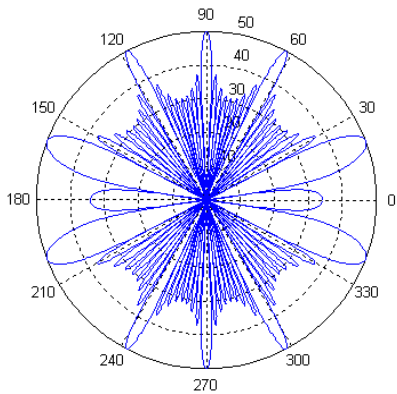
록 신호의 중첩에 의한 악 영향이 커짐을 알 수 있다. 따라서 레이다 영상에서 수신 안테나의 신호 중첩에 의한 허위 표적의 발생을 최소화하기 위해서는 최소 송신파의 $\lambda/2$ 보다 작은 간격으로 안테나를 배치하거나 합성 개구면을 구성해야 한다. 만약 방위각 관측 범위를 50° 수준으로 제한하면 λ 수준의 간격에서도 신호의 중첩이 발생하지 않음을 그림 8(a)에서 알 수 있다.

3-3 수풀 투과 시험

제한한 레이다의 수풀 투과 능력 및 수풀 뒤의 표적에 대한 영상화 가능성을 입증하기 위해 풀이 많이 자란 운동장에서 그림 6(a)의 장치를 이용하여 시험을 하였다. 송신 주파수는 2~4 GHz, 4~6 GHz, 6~8 GHz, 8~10 GHz의 4 가지 경우에 대해 측정하였다. 합성 개구면 구성을 위한 수신 안테나 배열의



(a) 안테나 간격 8 cm
(a) In the case of antenna interval is 8 cm



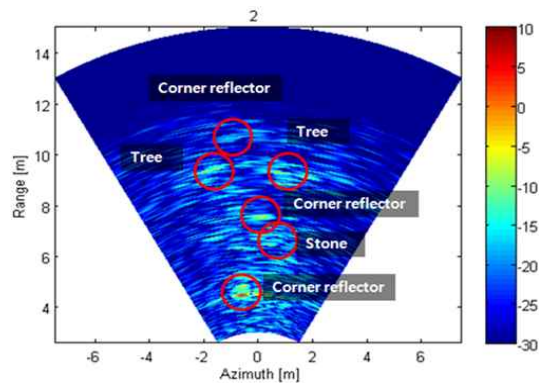
(b) 안테나 간격 16 cm
(b) In the case of antenna interval is 16 cm

그림 9. 배열 안테나 빔 패턴
Fig. 9. Beam pattern of antenna.

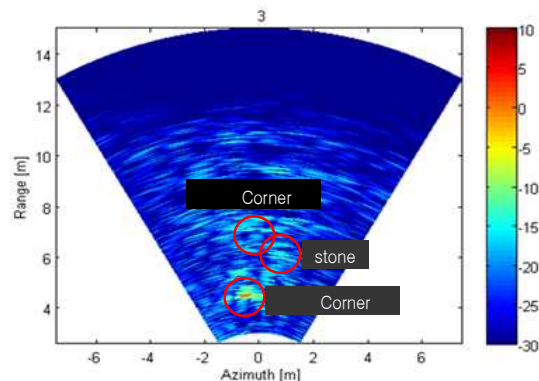
크기는 방위각 해상도가 약 4.6° 되도록 크기를 정했다. 따라서 중심 주파수가 3 GHz인 경우는 합성 개구면의 크기가 1.2 m이다. 수신 안테나의 움직임 간격은 $\lambda/2$ 로 정했다. 표적은 4개의 코너 반사기를 그림 10의 (a)와 같이 두었으며, 8.2 m의 코너 반사기는 풀 뒤에 숨겨놓았다. 그림 10(b)와 (c)는 각각 2~4 GHz, 6~8 GHz 주파수를 사용하였을 경우의 레이더 영상이며, 예측한 대로 2~4 GHz 주파수를 사용한 경우가 수풀 투과력이 가장 좋았으며, 6~8 GHz, 8~10 GHz일 때 획득된 영상에서 수풀 뒤의 코너 반사기나 7 m 이상의 표적을 찾을 수 없었고, 단지 4.3 m의 개방된 코너 반사기만을 영상화 할 수 있었다. 이 시험은 회로망 분석기를 사용하여 수풀 투과 전방 관측 영상 레이더의 가능성을 확인할 수 있는 시험으로



(a)



(b)



(c)

그림 10. (a) 수풀 투과 영상 획득을 위한 시험 환경, (b) 2~4 GHz 주파수를 사용했을 경우의 레이더 영상, (c) 6~8 GHz 주파수를 사용했을 경우의 레이더 영상

Fig. 10. (a) Test environment for acquiring penetration image through foliage, (b) radar image using 2~4 GHz frequency, (c) radar image using 6~8 GHz frequency.

수풀 투과를 위해서는 적어도 중심 주파수가 5 GHz 보다는 낮아야 한다는 것을 알 수 있었다.

IV. 결 론

이 논문에서는 무인 차량의 전방에 장착하여 야지 자율 주행에 사용될 수 있는 전방 관측용 초광대역 합성 개구 레이더의 시스템 설계 및 실험에 대해 기술하였다. 레이더 센서의 경우 주파수의 특성에 따라 물질을 투과하는 특성이 달라지므로 야지에 존재하는 수풀을 투과할 수 있는 레이더를 장착할 경우 CCD 센서, IR 센서 및 LADAR(Laser Radar) 센서가 갖지 못하는 장점을 가지고 있어 무인 차량의 자율 주행에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대한다. 수풀의 투과 특성을 파악하기 위해 중심 주파수에 따른 신호의 감쇄 특성을 측정하였으며, 이를 바탕으로 레이더의 중심 주파수를 2~5 GHz 대역으로 정하였다. 광대역에 적합한 비발디 안테나를 개발하고, 회로망 분석기를 이용하여 계단형 주파수를 사용하는 레이더를 구현하였다. 송신과 수신 안테나가 분리되어 있는 bi-static 레이더로 구성하고, 수신 안테나를 스캔하여 합성 개구 레이더를 구성하여 레이더 영상을 생성하였다. 운동장에서 코너 반사기를 표적으로 하여 합성 개구면 영상을 만들어 거리 해상도 및 방위각 해상도를 입증하였고, 수풀에 가려진 코너 반사기 영상을 생성해 봄으로써 유효성을 입증하였다.

향후 과제로는 이 논문의 내용을 바탕으로 2~5 GHz 대역의 중심 주파수를 사용하는 레이더의 송, 수신기를 제작하고, 편파에 따른 수풀 투과 특성을 시험을 통해 입증할 예정이다. 또한, 영상 레이더에서 고각 정보를 획득할 수 있는 방법으로 확장하여 3차원 영상 레이더를 개발할 예정이다.

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] 박영진, 김관호, 이원태, "초광대역 임펄스를 이용한 고해상도 지반탐사 이미지 레이더", 전자공학회논문지, 42, TC(11-13), pp. 821-826, 2005년 11월.
- [4] 곽영길, "위성탐재 영상레이더 기술 동향", 전자공학회지, 34(11), pp. 61-74, 2007년 11월.
- [5] A. G. Yarovoy, L. P. Ligthart, "UWB radars for challenging applications", *Proc. IEEE, Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals*, pp. 18-22, 2006.
- [6] L. Nguyen, D. Wong, B. Stanton and G. Smith, "Forward imaging for obstacle avoidance using ultrawideband synthetic aperture radar", *Proc. SPIE*, vol. 5083, pp. 519-528, 2003.
- [7] M. Ressler, L. Nguyen, F. Koenig, D. Wong, and G. Smith, "The Army Research Laboratory(ARL) synchronous impulse reconstruction(SIRE) forward looking radar", *Proc. SPIE*, vol. 6561, pp. 656105-1~656105-12, 2007.
- [8] L. Nguyen, M. Soumekh, "System trade analysis for an ultra-wideband forward imaging radar", *Proc. SPIE*, vol. 6230, pp. 623003-1~623003-11, 2007.
- [9] G. Krieger et al., "Sector imaging radar for enhance vision", *Aerospace Science and Technology*, vol. 7, pp. 147-158, 2002.
- [10] F. T. Ulaby, E. A. Wilson, "Microwave attenuation properties of vegetation canopies", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol. GE-23, no. 5, pp. 746-753, 1985.
- [11] S. Lin, S. Yang, and A. E. Fathy, "Development of a novel UWB vivaldi antenna array using SIW technology", *Proc. Progress in Electromagnetics Research, PIER*, vol. 90, pp. 369-384, 2009.
- [12] L. G. Cumming, F. H. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data*, Boston: Artech House, 2004.
- [13] L. Nguyen, J. Sichina, "SAR image formation using phase-history data from non-uniform aperture", *Proc. SPIE*, vol. 6547, pp. 65470F-1~65470F-10, 2003.

선 선 구



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

책임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 영상 레이더, 컴퓨터비전

박 규 철



1989년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
1991년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
2010년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
1991년 2월~현재: 국방과학연구소

선임연구원

[주 관심분야] 근거리 특수레이더 시스템, Transceiver 등

조 병 래



1999년 2월: 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)
2001년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2005년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2005년 3월~2006년 1월: 포항공과대학교 전자전기공학과 연구원

2006년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호 처리, 영상 레이더 등

남 상 호



2007년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
2009년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)
2009년 3월~현재: 삼성탈레스 레이더연구소 연구원

[주 관심분야] UWB 레이더, 투과 영상 형성 레이더 등