

Radar 기술의 현황과 전망

羅 正 雄

(正 會 員)

韓國科學技術院 電氣·電子科 教授

I. 서 론

Radar(radio detection and ranging)는 電磁波를 이용하여 목적물의 검출 및 위치를 알아내는 장치이다. 2차 세계 대전중 비행기의 조기 경보용으로 발전되기 시작하여, 현대에서는 우주 관측과 탐험선의 위치 및 속도 측정, 미사일 공격에 대항하는 anti-ballistic-missile 방어 등에 응용되고 있다.^[1] 미래에는 우주전을 가정할때 0.3m × 1m 정도 크기의 핵탄두를 거짓 탄두로부터 식별할 수 있는, 즉 위치뿐만 아니라 그 크기, 모양, 그리고 속도 및 가속도까지도 구별할 수 있는 radar를 요구하기에 이르고 있다.^[2]

개념적으로 radar system은 전자파를 보내고 받는 안테나 부분, 송신파형을 만들어 주며 송신 에너지를 크게 증폭시켜 안테나로 보내주는 송신기 부분, 그리고 목표물에 반사되어 돌아오는 미약한 신호를 증폭시키며 수신된 파형을 찾아 목표물까지 전파가 왕복하는데 걸리는 시간을 정확히 측정하여 그 거리를 산출해 주는 수신기 부분으로 나눌 수 있다. 목표물의 방향은, 목표물로부터 전파가 오는 방향이 되며, 이는 수신 안테나가 지향하는 방향이 되며, 방향과 거리를 알기 때문에 목표물의 위치를 알게 된다.

가장 간단한 거리 측정은 펄스파를 목표물에 보내 송신 펄스와 수신된 펄스파간의 시간차를 재는 것이다. 이때 시간 측정의 오차는 물체의 거리 오차가 되며, 보통 펄스 폭이 작을수록 거리 오차는 줄지만 펄스에 들어가는 총 에너지가 줄기 때문에 먼 거리에 있는 목표물까지 전파 에너지가 미치지 못한다. 최대 측정 거리는 출력 에너지에 비례하지만, 충분한 출력 에너지를 가정하면 펄스가 반복되는 주기 동안에 전파가 왕복할 수 있는 거리로 한정된다.

목표물 방향의 오차는 전파가 수신되는 방향을 얼마나 정확히 측정하느냐로 결정되며, 이는 안테나의 복사 빔각이 작으면 작을 수록 정확하다. 이 복사 빔각은 안테나의 크기에 반비례하며 사용 전파의 파장에 비례하므로, 파장으로 잰 안테나의 크기가 클수록 방향 측정이 정확하게 된다.

송신 출력이 크면 먼 거리의 목표물까지 전파가 갈 수 있지만 목표물에 반사되어 돌아오는 전파 세력은 대단히 미약하다. 이 미약한 신호를 잘 구별해 내기 위해서는 감도가 좋은 수신기가 필요하다. 수신기의 감도는 수신기 입력단 신호대 잡음비(S/N)에서 볼 수 있으며 '레이다 방정식'으로 부터^[3]

$$\frac{S}{N} = \frac{P G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4 F k T B_n} \quad (1)$$

이다. 여기서 P는 송신기 출력, G는 송수신 안테나의 이득, λ 는 사용 전파의 파장, σ 는 목표물의 전파 반사 능력을 등가 철판 면적으로 표시한 되반사 단면적(backscattering cross section), R는 레이더 안테나로부터 목표물까지의 거리, k는 Boltzmann 상수, T는 절대 온도로 표시한 수신장치의 온도, B_n 은 수신기의 대역폭, 그리고 F는 수신기 감도를 표시하는 잡음지수이다. F=1은 이상적인 수신기이며, 아주 값비싼 수신기라도 F는 보통 2 이상이 된다.

이 식에서 보면, 수신 신호를 구별할 수 있는 신호대 잡음비를 고정 시킬때 측정할 수 있는 목표물까지의 최대 거리 R은 송신 출력 및 안테나 이득이 클수록, 잡음지수 F가 작을 수록 멀어진다. 이 식에서 보면 파장 λ 가 줄어지면 S/N비가 떨어지는 것으로 보이지만, 안테나 이득 $G=4\pi A\eta/\lambda^2$ 가 증가되므로 마찬가지로이다. 여기서 A는 안테나 면적, η 는

안테나 효율이다.^[3]

이상 간단히 살펴본 radar의 원리로 부터 안테나의 이득을 높이고, 방향을 정확히 측정하기 위해서 전파의 파장을 줄이는게 바람직하다. 그러나 이는 고출력을 낼 수 있는 고주파 발진관, 즉 사용 가능한 hardware가 존재하느냐에 의해 결정된다. 비행기가 움직이면 이를 추적하기 위해서 레이더 안테나가 비행기를 따라 지향 방향을 돌려야 한다. 그러나 미사일을 떨어뜨릴 수 있는 anti-ballistic-missile은 대단히 빨리 움직이며, 이 속도를 따라 안테나 방향을 기계적으로 바꾸는 것은 거의 불가능한 것으로 알려져 있다. 이를 위해 안테나는 수천개의 고정된 소자로 이루어져 있으나, 각 소자에서 복사되는 전자파의 위상을 전자적으로 바꾸어 줌으로써 복사 빔을 빠르게 회전시킬 수 있는 phased array antenna를 사용한다.

각종 부품의 발전은 물론, 신호대 잡음비를 개선하는 신호처리 방법, 컴퓨터를 사용한 제어방법 등, 2차 세계대전 후 괄목할 발전을 이루었다. 이 발전 단계를 역사적인 관점에서 간단히 살펴보고, 2차 대전 후 발전된 현대의 radar 기술을 고찰한 후, 미래의 radar 발전 방향을 추측해 보고자 한다.

II. 2차 세계대전 전후의 Radar

영국에서 25MHz 단파대를 사용한 Chain Home System이 처음 radar로 사용되었으며 미국에서는 훨씬 후에 105MHz의 탐색 radar와 205MHz대의 추적 radar가 완성 사용되었다.^[4] 그러나 2차 대전 중에 사용되었던 radar는 200MHz대의 radar였으며 400MHz, 600MHz 및 1200MHz대의 radar는 중전에 임박해서 사용가능하게 되었다.

마이크로파대의 radar는 magnetron이라는 전자관이 발명된 후, MIT Radiation Laboratory가 중심이 되어 개발 완성한 SCR-584가 1943년에 생산되면서 부터이다. 이 3GHz대 (파장 10cm)의 radar는 그 당시 물리학 분야에서 갖 박사학위를 받은 젊은 과학자 집단에 의해 완성된 결과품으로서 klystron을 국부 발진기로 사용한 super heterodyne 방식의 고정도 수신기를 사용하였으며, 안테나 빔각이 4도 (70mr), 비행기 추적 정확도가 1.5mr 정도로 고사포를 직접 연결 연동시킬 수 있는 정밀도 이내의 성능을 보여 주었다. 이 공학 시스템으로서의 결과품이 전기 공학자에 의해 만들어지지 않고 물리학자들에

의해서 만들어졌다는 점에서, 2차 대전후 전기공학 또는 전자공학의 대학 교과 과정에 전자기 이론등 기초 물리과목 및 수학과목이 공식으로 들어가게 된 것은 특기할 만한 일이다.^[5]

마이크로파대의 탐색 radar로는 parabolic cylinder 면을 안테나 반사면으로 사용하고, slotted waveguide를 feed로 벌써 사용하고 있었으며, 이 당시 feeder에 다른 파장의 전파를 보낼때 안테나 빔이 이동한다는 사실을 알고 있었으며 도파관의 벽을 기계적으로 움직여 도파관 크기를 변화시켜 줌으로써 10°~20°의 빔각 회전을 성공적으로 얻어 1944년 실제 radar 시스템에 사용하고 있다.^[6] 2차 대전 말기 까지 완성된 고공 또는 장거리 탐색 radar에는 두개의 parabolic cylinder 면을 사용하거나, 몇개의 feed radiator와 한개의 parabolic 면을 사용하는 방법을 벌써 사용하고 있다.

그러나 이때 주로 사용된 magnetron은 마이크로파대에서 고출력을 내는데는 성공적이었지만, 펄스가 시작할 때 마다 마이크로파 반송파의 위상이 같지 않아 위상을 이용한 신호처리를 하기는 어려웠다. 2차 대전 후, 움직이는 물체만 신호로 보이고 고정된 지형등의 신호는 없애버리는 MTI(moving target indicator) 방식을 사용하기 위해서는 한 주기의 모든 목표물에서 반사된 신호와 다음 주기의 반사신호를 위상을 반전시켜 합해줄 때 고정 목표물 신호는 상쇄되는 원리를 이용한다. Magnetron 발진기를 사용할 때 마이크로파대 위상 정보를 phase locking 방법으로 중간주파 단계로 옮겨 수신 신호와 비교하는 방법으로 고정 목표물 신호(clutter)를 30~40dB 감쇄시킬 수 있었다. Magnetron대신 저출력의 주파수 안정도가 좋은 고정 주파수 발진기를 사용하고 amplitron 또는 klystron 관 증폭기를 출력관으로 사용하는 방법은 clutter를 약 20dB 더 감쇄시킬 수 있었으며 (50~60dB), 펄스 반복 주기를 더 빨리할 때 clutter를 90dB까지 감쇄시킬 수 있었다. 진행파관을 증폭관으로 사용하고 안정된 연속파 발진기를 사용한 CW radar에서는 이 clutter를 120dB까지 감쇄시킬 수 있다한다. 이렇게 마이크로파대의 위상을 이용한 신호처리 시스템을 coherent system이라 부른다.

발진기와 증폭관을 따로 사용하는 것은 송신 펄스 폭을 등가적으로 줄이는 pulse compression 기술을 사용 가능케 했다. 주파수 변조를 시간에 대해 선형적으로 줄때, 물체에 부딪혀 돌아오는 전파의 시간 지연을 주파수 변화로 부터 얻을 수 있는 chirp 방식으

로 또는 주파수나 위상을 coding 하여, 고출력 pulse 를 상당 기간 동안 보낸 후 그 모듈을 수신하여 표적 물의 거리등을 얻는 pulse compression 방법은 마치 도 고출력의 대단히 짧은 펄스와 같은 효과를 얻게 된다. 이 방법은 움직이는 표적물에 의해 발생하는 doppler 주파수 편이를 썰 수 있는 doppler signal processing 과 같이 사용함으로써 표적물의 거리뿐만 아니라 속도까지 높은 정확도로 줄 수 있는 방법이다. 이러한 신호처리 과정에는 surface acoustic wave(SAW) delay line 이나 filter 등이 clutter 제거에 중요한 역할을 하게 된다.

대전 후에 발전시킨 또 하나의 괄목할 만한 방식은 추적 radar 의 표적물 추적을 자동으로 하는 monopulse tracking system 이다. 한개의 표적물을 추적할 수 있는 가장 간단한 방식에서는, 4 개의 feed horn 을 사용하여 빔 축에서 차패턴 및 합패턴을 얻어 표적물이 어느 방향으로 움직이는 가를 알게 되어 자동 추적이 이루어 진다. 같은 원리는 많은 표적물을 동시에 추적하는 시스템으로 발전되었으며, 이 경우엔 많은 수의 feeder horn 또는 phased array antenna 를 직접 사용하게 되었다.

Ⅲ. 현대 Radar 기술

2차 대전후의 radar 기술 발전은 현대의 기술로 연결된다. 현대 radar 기술중 가장 괄목할 만한 발전은 1965년 이후 발전된 위상 배열 안테나 (phased array antenna) 및 이를 구성하는 subsystem 의 개발과 발전일 것이다. 전자적인 방법으로 안테나 복사 빔을 회전시키는 기술은 현대 radar 기술의 성공예라고 할 수 있다. 처음으로 실용화된 전자적 빔 회전 안테나는 주파수를 변화시켜 빔 회전을 얻는 방법을 사용하였다. 그러나 3차원 빔 회전을 모두 전자적으로 얻기는 어려웠으며, 수평축은 안테나를 기계적으로 회전시켜서 복사 빔을 회전시켰으며, 수직축만을 전자적으로 회전시켜 얻었다. 이 초기의 3차원 radar 에서는 전자적인 회전 빔과 함께 송신 펄스를 빨리 반복 발사하고 수개의 수신기를 병행 사용함으로써 빠른 신호 처리를 기도하였다.

위상 조정으로 복사 빔을 전자적으로 회전시키는 안테나는 그 빔 회전속도가 기계적으로 회전시키는 안테나에 비해 대단히 빠르다. 그러나 그 값이 대단히 비싸서 우주 탐색용 radar 또는 탄두 미사일을 격추시키기 위한 격추 미사일용 radar 로서 사용되기 시

작하였다. 이에 따라 실제 제작된 phased array radar 는 한개씩이었으며, 거의 같은 radar 를 다시 제작치 않았었다. 대형 배열 안테나를 사용한 radar 로서 미국에서 동서 해안에 설치하여 소련의 잠수함 발사 미사일을 감시할 목적으로 제작된 pave paws radar 는 최초로 수개가 같은 모양으로 제작되었으며, 이 radar 한대는 수천개의 복사 안테나로 구성되며, 각각의 안테나에 전자적으로 위상을 변경시킬 수 있는 위상기가 부착되고, 각각에 송수신 RF 모듈이 연결된다.

이러한 위상 조정 배열 안테나의 사용은 군용 radar 에 사용되기 시작했으며, 주로 격추용 미사일 운용을 위한 radar 로 제작되었으며, 미사일 추적시 전자적으로 자동 추적하는 monopulse 추적 방식을 부가한 radar 였다. 그러나 이러한 소형 radar 에도 수백개의 배열 안테나 소자가 필요하며, 이들을 효율적으로 사용하기 위하여 수개의 subarray 로 나누어 동작시키는 방법도 사용되었다.

위상 조정 배열 안테나를 어떻게 하면 값싸게 만드느냐는 이러한 radar 제작에서 가장 중요한 문제가 되고 있다. 예를 들면 patriot 다기능 radar 에 사용된 전자파 여기 배열 안테나(optically fed array)⁽⁵⁾ 는 multimode feed horn 을 사용하여 배열 안테나의 뒷면을 비추게 하는 안테나로서 horn 과 배열 안테나 사이의 공간을 이용하여 송신 전력빔과 monopulse 수신 빔을 분리할 수 있는 안테나 시스템이다.

적의 박격포나 대포의 위치를 찾아내는 firefinder radar 나 악천후시 비행기 착륙을 유도하는 radar 는 비교적 제한된 방향으로 볼 수 있는 radar 로서 좀더 적은 수의 안테나 소자를 사용한다. 비행기 착륙을 돕는 radar 의 예로는 고정된 넓은 반사면 안테나를 비추는 cassegrain subreflector 역할과 비슷한 기능을 주는 위상 배열 안테나를 사용한다. 이 위상 배열 안테나는 다시 monopulse horn feed 로 비추지는 연결이 되어 있으며, 약 800개의 array 와 반사면을 사용한 이 안테나의 주 빔은 원편파시 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 의 크기를 가지며, $15^{\circ} \times 20^{\circ}$ 의 빔 회전이 가능하다고 한다. 이 전체 안테나 시스템은 기계적으로 280° 까지 수평 회전이 가능하게 되어 있어서 (AN/TPN-19) 어떠한 활주로도 지향이 가능하게 되어 있다.

현대의 이 거대한 배열 안테나의 위상 조정은 물론, 이들에 연결된 모든 subsystem 의 제어, 그리고 송수신 신호 파형의 생성 및 처리, 목표물의 계속적인 추적을 위한 계획, 복사 빔 형성 및 계속적인 빔

각 회전등 고도의 기술이 복잡히 얽혀진 시스템이 요구된다. 이 시스템중 digital signal processing의 응용은, clutter를 제거하면서 원하는 표적 신호를 최대한으로 살릴 수 있는 검파 신호 수준(detection threshold)을 정하는데 새로운 핵심적인 역할을 하였으며, 변하는 clutter 환경에 적응해 가며 threshold수준을 결정해 주는 adaptive filtering 또는 대용량의 기억 장치를 이용한 신호처리에 사용할 수 있다.

대형의 위상 배열 안테나와 디지털 신호 처리 방법은 서로 상반적인 특성이 요구된다. 즉 위상 배열 안테나는 될 수록 빨리 목표물을 추적하기 위해 사용되며, 디지털 신호처리를 위해서는 복사 빔이 표적물을 오랫동안 비추어서 디지털 신호처리에 충분한 자료를 얻어야 하며, 자료처리에 충분한 시간이 주어질 수록 불필요한 clutter 신호 제거가 용이하여 좀더 충실한 신호 수신이 가능하기 때문이다. 그러나 이는 설계시 적절한 타협에 의해서 해결 한다.

디지털 신호처리는 또한 pulse compression 및 각종 신호 파형 발생에 넓게 응용되고 있다. 위상 coding에 의한 chirp 신호 발생등⁽⁶⁾에 크게 응용되며 많은 응용이 예상된다.

반도체 기술의 radar에의 이용은 수신장치의 핵심이 되었던 혼합기 및 검파기에 사용되었던 crystal diode에서 시작된다. 한때 광석 라디오라고 불렀던 이 검파기는 수신 감도를 수십 dB 올려 놓았다. 그 후 발달된 트랜지스터는 주로 radar 수신 장치의 중간주파단 및 검파단에 주로 사용되었다. 최근 발전된 마이크로파대의 반도체 기술은 GaAs 고주파 소자를 발전시켰으며, 저잡음 초단 증폭기, 국부 발진기 등 고주파 수신 시스템에 사용되었으며, 출력은 아직 낮지만 송신 출력단에도 점차 사용되고 있다. 특히 위상 배열 안테나를 사용할 때 각각의 안테나 소자에 반도체 소자를 직접 연결하여 많은 반도체 소자를 평행으로 동작시켜 상당한 출력을 얻게 된다. 이때 모든 반도체 출력 소자의 위상을 정확히 맞춰주는 기술이 필요하다.

새로운 소자의 발전은 파장이 밀리미터 영역인 radar 응용을 가능케 하였다. 이 영역의 주파수에서는 안테나 크기가 대단히 작아지며, 전파의 복사 빔 각 또한 대단히 작게 되어 해상도가 좋은 근거리 radar로서 유용할 것이다. 그러나 아직은 이 주파수 영역에서의 발전, 증폭, 검파등 소자의 발전이 밀리미터 radar 발전의 한계가 될 것이다.

IV. 고해상도 Radar

영국의 최초 radar가 사용된지 50여년이 지난 현재 radar는 군용이라기 보다는 과학적인 측정 계기로, 인공위성에서 혹성 또는 지구를 보는 원격 탐사용 등 새로운 응용 분야를 열고 있다. 광대역 마이크로파 기술과 현대의 신호처리 기술을 이용하면 배, 비행기, 우주 공간의 물체등의 위치는 물론 그 모양까지도 구별할 수 있는 radar가 가능하게 된다. 이러한 고해상도 radar로 synthetic aperture radar (SAR)가 있다.⁽⁷⁾

SAR는 항공기나 인공위성처럼 움직이는 곳에 설치하여 물체 또는 지표면 영상을 얻는 radar이다. 최초의 SAR 영상은 Illinois 대학의 연구로 1953년 항공기에 탑재한 SAR로 얻어진 지표면 영상이었다. 비행기가 움직이는 방향과 직교하는 방향으로 보는 (side looking) 이 radar는 고해상도를 얻기 위해서 넓은 주파수 대역의 신호로, 넓은 각에 걸쳐 지표면의 반사도를 측정할 수 있도록 설계되어 있다. 수신된 전자파의 진폭 및 위상을 주파수 및 비행기 진행위치의 함수로 측정했다면, 이 측정 데이터를 역 푸리에 변환과 같은 신호처리 과정을 계산기를 사용하여 거침으로써 목표물의 영상(또는 반사도 분포)을 얻는 장치이다. 예를 들어 호수나 바다는 반사도가 대단히 큰 반면 숲이 우거진 지역은 반사도가 낮은 특성을 가지며, 이들의 영상이 구별되게 된다.

해상도를 높이기 위해서는 사용하는 주파수 대역을 넓혀야 하며, 주파수 대역이 넓어짐은 처리해야 할 정보량이 많아짐을 의미한다. 많은 정보량을 실시간으로 처리하는 것은 현재 analog 신호 처리 방법인 optical processing⁽⁷⁾을 이용하면 어느 정도 가능함을 보여주지만, digital computer에 의한 처리는 그 용량의 한계성과 처리에 걸리는 시간 지연으로 불가능한 것으로 알려져 있다.

참고로 표 1에 12m × 12m 해상도를 가지고 85km 도달 거리를 목표로 하는 가상적인 항공기 탑재 SAR의 제원을 보인다.⁽⁷⁾ 이 제원에서 볼 수 있듯이, 시스템 특성은 보통의 radar 특성과 거의 같으며 다만 송신 주파수가 어느 대역을 가지며 시간에 따라 변화하며, 수신 시스템이 coherent한 시스템으로 고주파 신호의 위상 지연을 측정할 수 있는 특성을 가져야 한다.

지표면 관찰등 고정 물체를 관찰할 경우에는 radar를 비행기에 탑재하여 움직임으로써 수신 안테나 길

표 1. 가상적인 항공기 탑재 SAR 제원
(12m×12m 해상도 및 85km 도달거리)

Design Parameter	Symbol	Value
Center Frequency	\bar{f}	10GHz ($\lambda = 0.03m$)
Pulse Duration	T_1	2.5 μs
Peak Power	P_1	1000W
Radar System Noise Temperature	T_s	1000K
Aircraft Altitude	h_1	15km
Incident Angle	θ_a	10° (at 85km)
Antenna Gain	G	35dB (3162)
Antenna Effective Beamwidth in Azimuth	ψ_e	0.86° (0.015 rad)
Platform Velocity	ν_p	150m/s
System Loss	L	-3 dB ($L=0.5$)
Number of Looks	n_e	4
Required Single-Look Integration Angle	$\phi = \frac{\lambda}{2\Delta r_c}$	1.25×10^{-3} rad
Required Bandwidth	$n\Delta f = \frac{c}{2\Delta r_s}$	12.5MHz
Frequency-Step Size	$\Delta f = \frac{1}{T_1}$	400kHz
Number of Steps per Burst	$n = \frac{n\Delta f}{\Delta f}$	32 (nearest 2^n)
PRF	$\frac{1}{T_1} \geq n \frac{2\nu_p \psi_e}{\lambda}$	≥ 4800 , select 5783*
Bursts per Azimuth Integration Length	$N \geq \frac{2R\psi_e}{\lambda}$	≥ 106 , select 128*
Number of Pulses per Look at Range R=85km	$nN = \frac{R\psi_e}{\nu_p T_1}$	4096

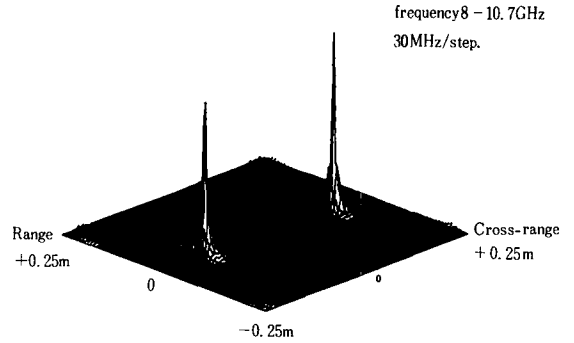


그림 1. ISAR 방법으로 측정 처리된 두개의 황동봉 영상재현

영상을 재생할 수 있는 연구가 진행되고 있다.^[7] 3차원 monopulse 신호처리를 위해서는 1개의 합찬널 (sum channel) 과 2개의 차찬널 (difference channel) 의 3개 찬널이 필요하다. 이러한 방법은 아직 실험 중이며 실용화 하지는 않았지만 우주 또는 비행기용 3차원 radar로서 비행체 또는 배의 모양을 구별할 수 있는 radar로서 기대할 수 있으며, 밀리미터파의 이용이 크게 기대된다.

V. 결 론

2차 대전중 개발되어 비행기등 물체의 존재를 가시거리 밖에서 확인할 수 있으며 그 위치까지 측정할 수 있는 장치로서 radar는 모든 기술이 발전될 만큼 되었다고 생각되었다. 한편 인공위성의 개발과 원격탐사 및 첩보위성의 발전은 지상관측의 필요성을 가져 왔으며, 구름 비등 기후 조건 또는 밤낮 관계없이 관측할 수 있는 radar로서 SAR를 발전시켰다. 미국의 SAR 발전에 힘입어 유럽 우주 항공국, 일본등이 전천후 원격 탐사 위성에 이를 사용할 예정으로 있다.

한편 미국의 전략 방위 계획에서는 작은 폭탄 탄두를 주위의 비슷한 모양의 폭탄이 없는 것들과 구별할 수 있는 초고 해상도의 radar를 필요로 하고 있다. 이 3차원 초고해상도 radar의 개발은 많은 정보량을 실시간으로 처리할 수 있는 대용량, 고속 computer를 요구하며,^[9] 어떻게 하면 요구되는 특성을 유지하면서 정보량을 줄이는 방법의 연구 및 그러한 고속의 신호처리 및 대용량의 computer의 개발이 계속될 것으로 전망된다.

이가 증가적으로 커져 보통 고정 radar보다 더 높은 해상도를 얻을 수 있게 된다. 이러한 SAR를 역으로 사용하면, 즉 움직이는 물체를 고정된 radar로서 관찰하고 SAR원리를 적용한 신호 처리를 함으로써 SAR과 같은 고해상도를 얻을 수 있는 inverse synthetic aperture radar(ISAR)가 있다.^[7,8]

반사도 분포를 가진 물체를 회전시켜, 산란된 전자파의 진폭 및 위상을 측정함으로써 실험실내에서 ISAR원리를 실험적으로 확인할 수가 있다. 그림 1에 두개의 황동봉을 세운 영상을 실험실내의 산란파를 10개의 주파수에 대해 측정하고, 그 측정 data로부터 영상을 재생한 결과를 보인다.^[9] 이론적인 해상도는 사용 중심 파장의 1/4까지이지만 실험실내 측정 결과 중심 파장 정도의 해상도를 얻고 있다.^[9]

ISAR로는 2차원 영상을 얻게 된다. 그러나 이러한 원리와 monopulse radar의 원리를 합하여 3차원

参 考 文 献

- [1] D.K. Barton, "A half century of radar," *IEEE Trans. on MTT*, vol. MTT-32, no. 9, pp. 1161-1170, Sept. 1984.
- [2] J.A. Adam and P. Wallich, "Star Wars, SDI, The grand Experiment; I. Mind-Boggling Complexity," *IEEE Spectrum*, pp. 36-46, Sept. 1985.
- [3] S.A. Hovanesian, *Radar System Design and Analysis*, Artech House, Inc., Dedham MA, 1984.
- [4] H.R. Ward, C.A. Fowler and H.I. Lipson, "GCA radars; Their history and state of development," *Proc. IEEE*, vol. 62, pp. 705-716, June 1974.
- [5] E.J. Daly and F. Steudel, "Modern electronically scanned array antennas," *Electronic Progress*, vol. 16, no. 4, pp. 10-17, 1974.
- [6] B.L. Lewis and F.F. Kretschmer, Jr., "A new class of polyphase pulse compression codes and techniques," *IEEE Trans. Aerosp., Electron. System.*, vol. AES-17, pp. 365-372, May 1981.
- [7] D.R. Wehner, *High Resolution Radar*, Artech House, Inc., Norwood MA, 1987.
- [8] F.Y.S. For and J.D. Young, "Space-frequency sampling criteria for electromagnetic scattering of a finite object," *IEEE Trans. Ant. and Prop.*, vol. AP-35, no. 8, pp. 920-925, Aug. 1987.
- [9] 나정웅등, SAR 장치 개발에 관한 연구(I), 과학기술처 국책 연구 보고서, 한국과학원, 1987. 9. *

♣ 案 内 ♣

- 회원 자료 작성 협조 -

본 학회 사무국에서는 회원 여러분에게 학회지등 각종 발간물 발송에 관한 업무의 능률을 극대화하고, 회원 관리의 향상을 도모하고자 회원 여러분의 관련 자료들을 재정리하고 있습니다.

관련 자료들에 대한 내용은 본 회지에 첨부되어 있는 우편엽서를 이용·작성 하시고 발송유효기간내에(가능한 바로 작성후 우송바람) 학회에 도착토록 협조를 바랍니다.

◎우편엽서 작성에 관한 문의사항은 학회 사무국(568-7800, 7489)으로 연락하여 주시기 바랍니다.