

# 레이다와 전파신호처리 기술 (I)

3회에 걸쳐 연재합니다.

곽 영 길  
국방과학연구소

레이다 신호는 대표적인 전자파 신호로서 주변 환경에 따라 시간, 주파수, 공간 영역에서 고유한 신호 특성을 가지고 있으며, 신호처리 기법도 다양하다. 본 논문에서는 먼저 레이다를 위한 전자파 신호처리의 정의와 필요성을 언급한 뒤, 레이다 신호환경 특성을 살펴보고 신호처리를 위한 신호의 시간 및 스펙트럼 특성에 대해 기술하였다. 그리고, 신호특성에 적합한 신호처리기의 구현을 위해 레이다 신호처리에 관련된 주요 기법에 대해 개괄적으로 설명하였다. 레이다 신호처리 분야는 일반적으로 잘 알려진 음성이나 영상신호처리 분야와 달리 고유한 알고리즘과 구조가 요구된다. 신호처리기법으로서 레이다 파형 설계, 해상도 모호성, 펄스압축, 클러터제거, 도플러 처리, 일정오경보탐지, 클러터 지도, 표적군 형성/추출, 표적식별, 레이다영상기법, 적응배열처리 등에 관해 개괄적으로 설명하였다. 레이다 신호처리 기술은 “스마트”한 레이다를 위한 두뇌 역할을 하기 때문에 그 필요성과 중요성이 증가하고 있다. 그러나, 고속, 대용량의 신호를 주어진 빔 주사시간동안에 실시간으로 처리하여 표적 정보를 추출해야 하기 때문에 아직도 상용 프로세서의 속도 한계내에서 알고리즘의 수행에 다소 제약을 받고 있으나, 최근 디지털 신호처리 전용의 고속 칩의 출현으로 많은 발전을 가져오고 있다. 끝으로, 향후 레이다 신호처리 발전 추세와 응용분야에 대해 살펴보았다. 응용분야는 군수 및 민수용의 겸용 파급효과가 매우 크고, 군용의 대공탐색 및 조기경보, 전장감시뿐만 아니라 전투기 탑재용으로 필수적이며, 특히 민수용의 공항, 항공기, 선박, 위성 등 매우 다양하다. 최근 발전 추세에 따른 기술로서 다중모드 신호처리, 고집적회로기술, 적응배열, 디지털 빔형성, 적응성, 고분해능 및 방향성, 표적식별, 다차원 신호처리에 대해 언급하였다.

## I. 서 론

레이다는 인간의 가시거리 한계를 초월하여 원거리에 있는 물체의 존재를 탐지하는 센서로서 기상 여건이나 주야 관계없이 전천후 기능을 가지고 단거리부터 수평선 너머 지구 반대편의 장거리 물체까지 탐지할 수 있는 고유한 신호의 특성이 있기 때문에 기존의 광학 수단을 이용한 방식과는 완전히 다른 전자파 센서이다. 레이다(RADAR)의 어원은 원래 RAdio Detection And Ranging의 약어로서 무선 전자파에 의한 표적의 존재유무 및 거리정보를 파악하는 것이 초기 레이다의 가장 기본적인 기능이었다. 1920년대에 최초로 레이다가 개발된 이래 과학기술의 발전과 더불어 기본적인 표적 탐지 기능은 물론 표적 식별을 위한 고해상도 레이다 영상에 이르기까지 괄목할만한 발전을 거듭해 오고 있다. 레이다는 전자파를 이용하여 원거리의 표적을 볼 수 있는 전천후 “전자 눈(Electronic Eye)”으로서, 항공 운항 및 관제, 지구 및 우주탐사, 기상관측, 선박 항해, 자동차 속도 측정 및 충돌방지 등의 민수용뿐만 아니라 조기경보, 전장 및 항만감시, 대공방어, 미사일 유도통제 등의 군사용으로 현대전의 각종 무기체계 속에서 그 역할이 매우 중요해지고 있다. 그 중에서도 특히 레이다 신호처리기법은 레이다의 주변환경과 임무에 능동적으로 대처할 수 있는 스마트한 기능들을 레이다에 부여하는 두뇌 역할을 하고 있기 때문에 그 필요성과 중요성이 날로 증대되고 있다.

레이다 신호처리 기술은 표적이 존재하는 주변의 강한 클러터 및 위협적인 재밍환경 특성의 변화에 능동적으로 적응하여, 표적의 존재 유무, 표적의 위치, 속도 및 표적식별 등의 정밀한 표적정보를 실시간으로 추출하는 제반 표적획득 처리 기법을 말한다. 일반적으로 레이다 신호는 송신된 전자파 에너지가 표적으로부터 반사되어 올 때 원하는 표적으로부터 미약하게 반사된 신호외에도 표적이 존재하는 주변의 원하지 않는 물체에 의해 반사된 강한 클러터 및 인위적인 방해 전파나 간섭잡음 등을 많이 포함하고 있기 때문에, 이들 복합적인 신호로부터 미

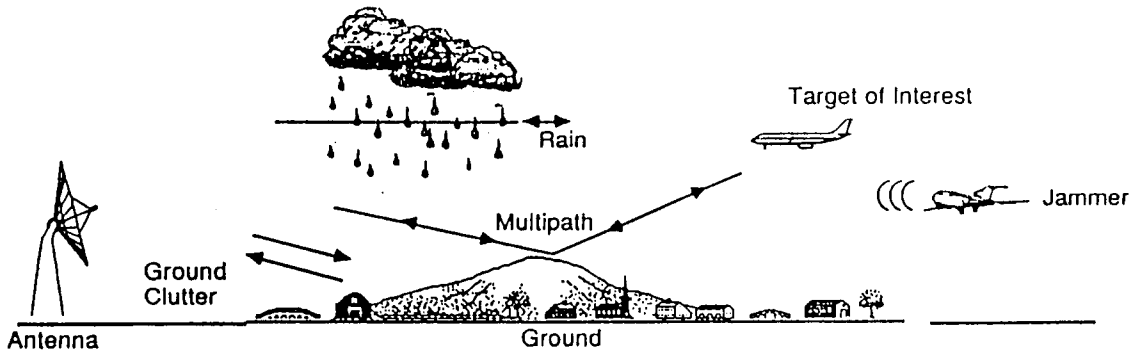
약한 표적 신호만을 완전히 분리하여 탐지한다는 것이 용이하지 않다. 특히 클러터 및 간섭잡음 등의 분포 특성은 시간적, 공간적, 스펙트럼 영역에서 레이다 환경 지형, 해상 및 기상 상태 등에 따라 다각적으로 변하고 있으므로 표적 및 클러터의 통계적 특성의 변화에 따라 능동적으로 적용가능한 신호처리 기법들이 필요하게 되었다. 1970년대 들어와서 디지털 기술의 발전으로 마이크로프로세서와 집적회로 등을 이용한 디지털 신호처리 기술을 레이다에 적용함으로써, 클러터 제거용 디지털 MTI 필터, 펄스도플러 FFT 처리 및 표적의 자동탐지와 추적, 표적영상 형성기술등을 이용하여 레이다의 기능을 다양화하고 성능을 대폭 향상시킬 수 있었다. 더구나, 고해상도의 레이다 영상기술이 개발되어 원하는 지역의 레이다 영상사진을 얻어서 표적을 식별하거나, 지형의 탐사 및 정찰에 활용할 수 있게 되었으며, 1980년대에는 지구 수평선 너머까지 탐지할 수 있는 OTH(Over-The-Horizon) 레이다가 개발되어 수천 킬로미터 이상의 원거리 표적을 탐지할 수 있게 되었다. 최근 레이다 신호처리기술은 급속한 발전을 가져온 디지털 신호처리 기술의 발달과 함께 고속의 디지털 신호처리 소자(DSP)의 도움으로 최신 신호처리 알고리즘들을 레이다에 적용할 수 있게 되었다. 특히 레이다 주변환경의 변화에 능동적으로 적응하고 레이다의 기능과 임무를 필요에 따라 바꿀 수 있는 적응 신호처리 개념이 도입되었으며, 프로그램 가능한 신호처리기(PSP) 구현기술의 개발로 인해 기본 하드웨어의 변경없이 필요에 따라 알고리즘을 변경함으로써 다양한 기능을 수행할 수 있음과 동시에 하드웨어의 복잡성을 줄이고 구조를 모듈화할 수 있게 되었다. 1990년대 이후의 레이다 센서의 발전은 더욱 고도의 지능화, 고밀도화 되어가는 간섭 및 방해전파 환경에서도 표적탐지 오정보율을 최소로 하면서 탐지확률을 높일 수 있는 기법들이 개발되고, 또한 표적탐지는 물론 탐지된 표적을 자동으로 식별 인식할 수 있는 기법들을 적용하여 보다 지능적인 레이다 센서를 위한 최신 신호처리 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 먼저 레이더 주변 환경 특성 및 신호의 특성을 살펴보고 이들을 처리하는데 필수적인 주요 알고리즘들을 개괄적으로 고찰한다. 끝으로, 응용분야와 발전추세 등에 대해 살펴보고자 한다.

## II. 레이더 신호 환경 특성

레이더 신호처리를 하기 위해서는 먼저 처리하고자 하는 신호의 특성을 살펴 볼 필요가 있다. 신호의 환경 특성은 레이더가 위치하는 주변환경에 따라 반사물체의 전파특성이 다르기 때문에 주로 레이더 종류에 따라 지상, 해상, 항공기 및 위성등의 탑재 플랫폼과 사용 전파의 주파수에 의해 정해진다. 레이더 신호는 [그림 1]에서 보는 주변환경과 같이 표적

이 존재하는 주변 특성에 따라 일정하지 않고, 시간적, 공간적, 스펙트럼 영역에서 변하고 있으며, 표적에 의한 미약한 반사신호 이외에도 “클러터”(Clutter)라고 하는 원하지 않는 주변 물체에 의한 강한 반사신호와 재밍 등의 간섭 잡음이 복합적으로 섞여 있기 때문에, 이들 복합적인 클러터 크기에 비하여 상대적으로 보통 100배 내지 10만배 정도의 매우 미약한 표적신호만을 분리하여 표적의 위치, 속도, 종류등 표적정보를 실시간으로 추출한다는 것이 용이하지 않다. 이들 복합적인 신호들은 분포특성이 일정하지 않기 때문에 통상적인 종류에 따라 통계적인 신호들을 분포특성이 일정하지 않기 때문에 통상적인 종류에 따라 통계적인 모델로 구분하여 레이더 설계시에 신호처리 모델로 이용한다. 클러터는 레이

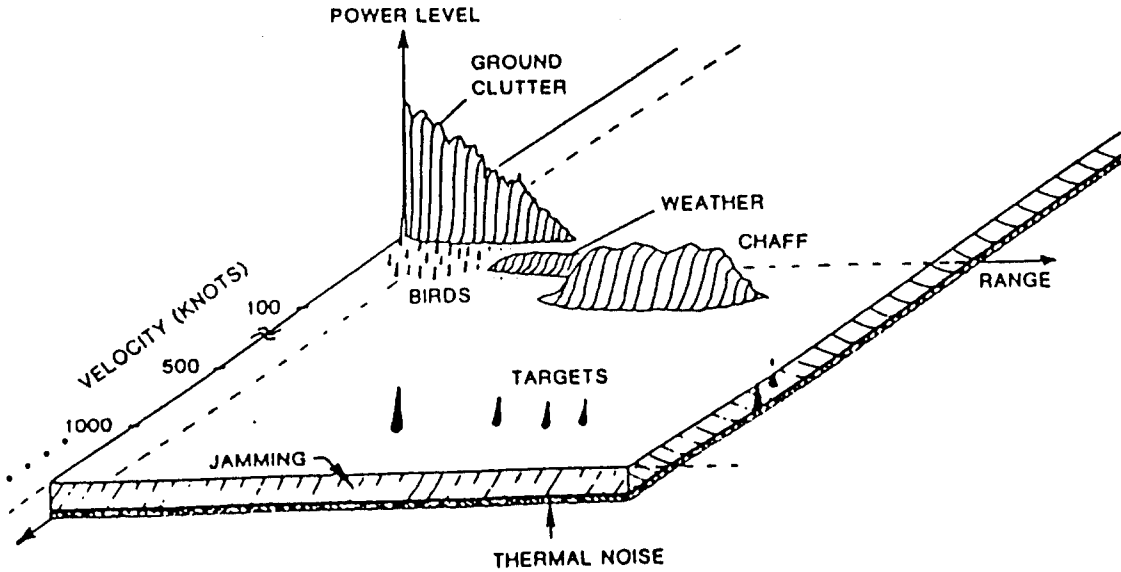


[그림 1] 레이더 주변환경 특성

다 신호의 사용목적에 따라 표적신호와 구분되는데 일반적인 표적탐지 레이더의 경우 주로 지면, 해면, 비, 구름, 조류, 채프와 같은 원하지 않는 물체로부터 반사된 신호에 의해 발생한다. 먼저 클러터 신호의 특성은 크게 시간영역에서 송신된 전파가 반사물체의 단면적(Radar Cross Section)에 비례하여 되돌아오는 신호의 진폭특성의 변화 성분과 이것을 주파수 영역에서 도플러 효과에 의한 스펙트럼 변화 특성을 통계적 모델로 구분한다. 클러터는 주변 지형상태에 따라 반사 표면 상태가 달라지고, 비와 같이 기상상태에 따라 체적 분포상태가 달라지므로, 일반적으로 표면 클러터와 체적 클러터로 모델링된

다. 이와같은 레이더 주변 클러터 종류에 따른 분포 특성을 거리 및 도플러 영역으로 종합하여 도시하면 [그림 2]와 같다. 이러한 표적 및 클러터 모델은 최적의 레이더 신호처리기를 설계하거나 분석하는데 목적이 있으며, 실제 클러터의 특성은 랜덤 프로세서이므로 실상황과 모델의 오차를 줄이기 위한 적응 모델이 필수적이다. 이러한 클러터 및 표적신호의 환경 특성을 이용하여 클러터의 반사 세기를 감소시키거나 제거하는 기법들이 요구된다.

대표적인 클러터는 지면에 의해 반사되는 지면 클러터로서, 클러터의 반사도는 클러터의 종류, 전파의 입사각, 사용 주파수, 분극의 종류에 따라 영향



[그림 2] 클러터 환경 특성

을 받는다. 그러나, 지면 클러터는 그 움직임이 매우 느리고 평균 도플러 중심 주파수는 거의 영에 위치하며 분포의 정도는 주변풍속 등에 따라 변한다. 지면 클러터의 경우 스펙트럼 분포모델을 가우시안 모델 등으로 근사화시킬 수 있다. 해면 클러터는 지면 클러터에 비해 시간에 따른 변화가 크고 공간적인 변화는 작게 나타난다. 해면 클러터는 풍속 및 해수면의 상태에 따라 반사특성이 서로 다르기 때문에 파도의 높이에 따라 해면 상태를 여러 등급으로 구분하여 해면 클러터의 반사도를 정의한다. 해면 클러터의 평균 도플러 스펙트럼은 영보다 크고, 해수면의 요동정도가 커지면 스펙트럼 분포폭이 넓어지므로 클러터 제거가 용이하지 않다. 또한, 기상의 변화에 따른 구름이나 비에 의한 클러터는 스펙트럼상에서 표적 주파수 영역에 나타날 확률이 가장 높기 때문에 클러터 필터링에서 가장 심각하게 고려된다. 비클러터의 단위 체적당 반사도는 레이더의 주파수, 분극, 강우량 등에 영향을 받으며, 스펙트럼 분산은 고도에 따른 바람층, 바람의 세기 및 요동, 안테나의 빔폭, 강우속도 등의 각 성분을 고려하여 결정된다.

표적의 분포특성은 레이더 표적 탐지과정에서 탐

지확률을 설정하는데 매우 중요한 역할을 한다. 먼저 표적의 분포 모델을 설정하기 위하여 표적의 유효 반사면적은 표적을 구성하고 있는 여러 개의 반사요소로부터 반사되는 신호의 벡터 합으로 나타낼 수 있다고 본다. 이때 유효 반사면적은 레이더빔이 표적을 바라보는 입사 각도, 사용 주파수, 편파 특성 및 표적의 움직이는 정도에 따라 여러 형태로 변하게 된다. 따라서, 복잡한 표적의 변화 특성에 따라 표적 변화 분포 모델은 유효반사면적이 변하지 않을 경우 탐지 확률값을 기초로 하여 유효 반사면적이 변하는 속도와 표적을 구성하고 있는 반사요소의 통계적 분포특성에 따라 다섯가지 Swerling 모델로 분류하고 있다. 먼저, Swerling 모델 0은 표적이 변동하지 않는 경우이고, 모델 I과 III는 표적 특성의 변화 주기가 레이더 안테나의 회전 속도정도의 느린 표적모델을 말하고, 모델 II과 IV는 표적이 매 빔폭 단위 내에서 표적에 송신하는 펄스반복 주기단위로 특성의 변화를 보이는 빠른 표적모델을 의미한다. 실제 레이더 주변환경의 신호변화는 매우 복잡하기 때문에 레이더를 설계할때 이러한 통계적 모델을 이용하여 주어진 표적특성에 대한 탐지 확률을 설정하

고, 표적의 변화 정도와 주변잡음의 크기 및 변동에 따라 표적탐지시 오경보율을 결정하게 된다.

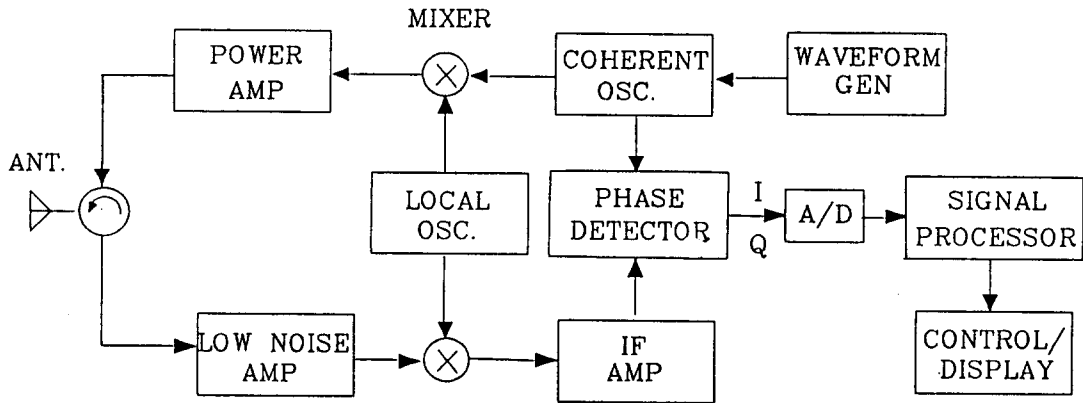
### Ⅲ. 레이더 신호의 특성과 처리

#### 1. 레이더 기본 구성

레이더의 기본 개념은 비교적 간단하지만 레이더를 실제 구현하기는 용이하지 않다. 레이더가 움직이는 물체를 탐지하기 위하여는 레이더로부터 표적까지의 거리와 움직이는 물체의 도플러 성분을 측정하는 원리를 이용한다. 레이더에서 표적간의 거리 R는 송신 펄스가 표적에 반사되어 수신될 때까지의 왕복시간을 측정하므로써 구하며  $R=cD/2$ 로 주어진다. 여기서 c는 빛의 속도이고 D는 송신펄스와 수신펄스간의 지연시간 차이이며, 주어진 송신펄스의 반복주기 T보다 작다고 가정한다. 그러나 사용 PRF(Pulse Repetition Frequency)의 선정에 따라서 T는 탐지거리 범위를 넘어설 수 있는데 이는 거리 모호성으로 설명된다. 움직이는 표적에 의한 도플러 편이 효과는 송신 주파수와 수신 주파수간의 차이에 의하여 결정되는데, 실제 도플러 주파수  $f_d$ 는

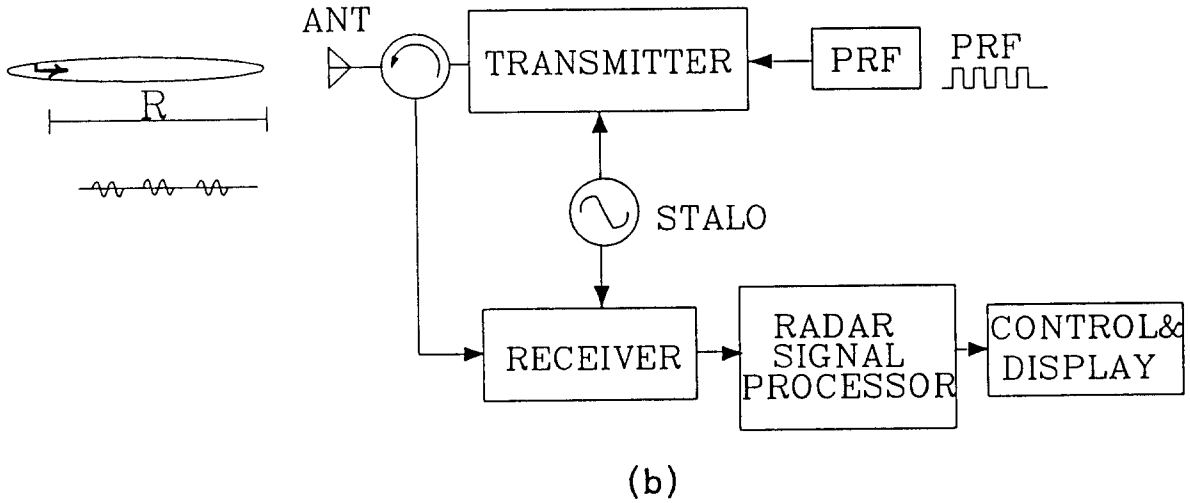
물체의 상대적인 이동속도에 비례하고 송신 주파수의 파장에 반비례하는 관계식에 의하여  $f_d=2V/\lambda$ 로 주어진다. 여기서 V는 표적속도,  $\lambda$ 는 송신 주파수의 파장이다. 일반적으로 송신 주파수는 일정한 대역폭을 가지고 있으며, PRF의 펄스폭 동안 펄스 반복주기로 특정 과정을 송신 캐리어 주파수에 변조시킨 후 레이더 빔이 표적에 머무는 시간 단위로 송신한다. 따라서 특정거리에 있는 표적에서 반사되어 오는 신호를 수신하여 송신 주파수와 위상 변이를 검파한후 표적신호의 도플러 변화 크기를 매 드웰 시간 단위 및 거리셀 별로 코히어런트 적분하여 특정거리와 표적의 속도 성분을 탐지한다.

펄스 도플러 레이더의 기본 구조는 [그림 3]에 도시되어 있다. 그림에서 보는 바와 같이 원하는 탐지 목적에 적합한 펄스파형을 발생시켜 이것을 코히어런트 발진기의 중간 주파수로 변조시킨 다음, 최종적으로 송신 주파수에 실은 후, 증폭시켜서 안테나를 통하여 송신한다. 표적으로부터 반사된 신호는 안테나를 통하여 수신단에 들어온다. 이때 송신 캐리어 성분은 믹서를 이용하여 제거하고 저잡음 수신기를 통하여 중간주파수 밴드에서 증폭한 다음 송신기와 같은 코히어런트 발진기에서 나오는 기준 변조



(a)

[그림 3] 레이더 구성도



[그림 3] 레이다 구성도

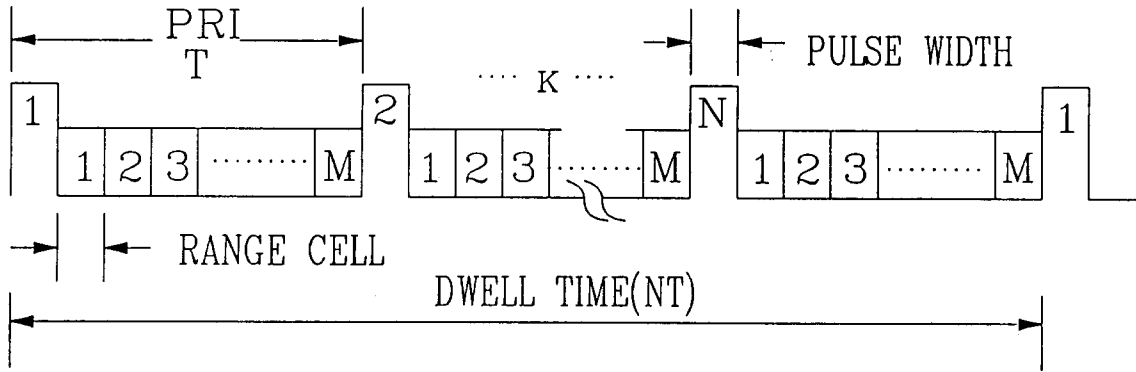
신호와 비교하므로써 수신 신호의 위상 변이를 검출한다. 위상 검출기의 출력은 코히어런트 위상 신호 정보를 위해 동위상(In-Phase) 및 90도 위상변이(Quadrature-Phase) 신호로 나누어진다. 이 비디오 신호는 적절히 디지털화되어 레이다 신호처리 과정을 거치게 된다. 레이다 신호처리기에서는 클러터 신호를 제거하고 표적을 탐지한 후 표적에 대한 위치, 속도, 가속도, 표적의 정체 등에 대한 표적정보를 추출하여 사용자의 전시기에 최종 결과를 전시하여 준다. 신호처리의 기능에 대해서는 다음에 자세히 설명한다.

## 2. 펄스 도플러 신호특성

### (1) 시간 영역 특성

시간영역에서 움직이는 표적의 도플러 변이와 표적신호 샘플링 관계를 살펴봄으로써 신호처리를 위한 물리적인 의미를 파악해 볼 수 있다. 먼저 특정 시간  $t=0$ 에서 주파수  $f_c$ 로 송신되는 레이다 신호  $s(t)$ 를 복소함수로 표시하면  $s(t) = m(t)\exp(j2\pi f_c t)$ 와 같다. 여기서  $m(t)$ 는 레이다 파형 신호로써 대역폭은 송신하는 PRF의 펄스폭에 의해 결정되며 단순 펄스 게이타 함수로 가정한다. 이러한 송신신호는 펄스반복주기가  $T$ 이고 폭이  $\tau$ 인 PRF로 송신

된다. 이상적인 경우에 클러터 잡음의 영향이 없는 대공 비행표적이 레이다로부터  $R_0$ 의 거리에 있다면  $t_0$ 에 송신되어  $T_0$  시간 후에 수신된 신호는  $r(t) = m(t - T_0)\exp[j2\pi f_c(t - T_0)]$ 와 같고, 여기서  $T_0$ 는 송신펄스가 표적으로부터 반사되어 수신되기까지의 시간지연으로  $T_0 = 2R_0/c$ 로 주어진다. 여기서  $c$ 는 빛의 속도이다. 비행표적이 거리  $R_0$ 로 부터 광선방향 속도(Radial Velocity)  $V$  m/s로 레이다를 향하여 등속 이동한다면 표적의 이동거리는  $R(t) = R_0 - Vt$ 로 주어지며, 이때 표적속도로 인한 왕복시간 지연은  $D = T_0 + 2Vt/c$ 로 주어지므로 수신신호는  $r(t) = m(t - D)\exp[j2\pi f_c(t - T_0 + 2Vt/c)]$ 와 같다. 코히어런트 수신기에서 송신 캐리어 주파수 성분은 믹서를 통하여 제거되고 위상 변이 성분만 복소함수 형태로 남게 되는데 이것을 레이다에서는 비디오 신호라고 한다. 실제 비디오 신호 변환과정은 IF단을 거쳐서 나오는 실수 성분의 동위상(In-phase) 신호를 이용하여 90도 위상 변이(Quadrature)된 허수성분 신호를 만들어서 베이스밴드에서 I/Q 비디오를 얻게 된다. [그림 4]에서 보는 바와 같이 첫번째 PRF를 송신한 뒤  $T$ 시간 동안에 수신된 비디오 신호로부터  $k$ 번째 송신한 PRF에 의하여 수신된 비디오 신호를 표시하면 다음과 같다.



[그림 4] 레이더 펄스 반복주기 구조

$$v(t, k) = m(t - D) \exp[-j2\pi f_c(t - T_0 + 2Vt / c - 2VkT / c)] \quad (1)$$

여기서  $k$ 는 펄스수이고, 복소함수의 첫항은 초기 표적과 레이더간의 거리에 의한 위상지연 성분이고, 둘째항은 거리방향으로 시간에 따른 표적 등속운동에 의한 위상 변이 성분이고, 셋째항은 동일 거리셀에서 방위각 방향으로 드웰시간 동안 PRI 시간에 따라 표적 등속운동에 의한 도플러 위상지연 크기를 나타낸다. 즉,

$$\text{거리방향 성분: } v(n\tau) = \exp(-j4\pi f_c Vn\tau / c) = \exp(-j2\pi f_d n\tau) \quad (2)$$

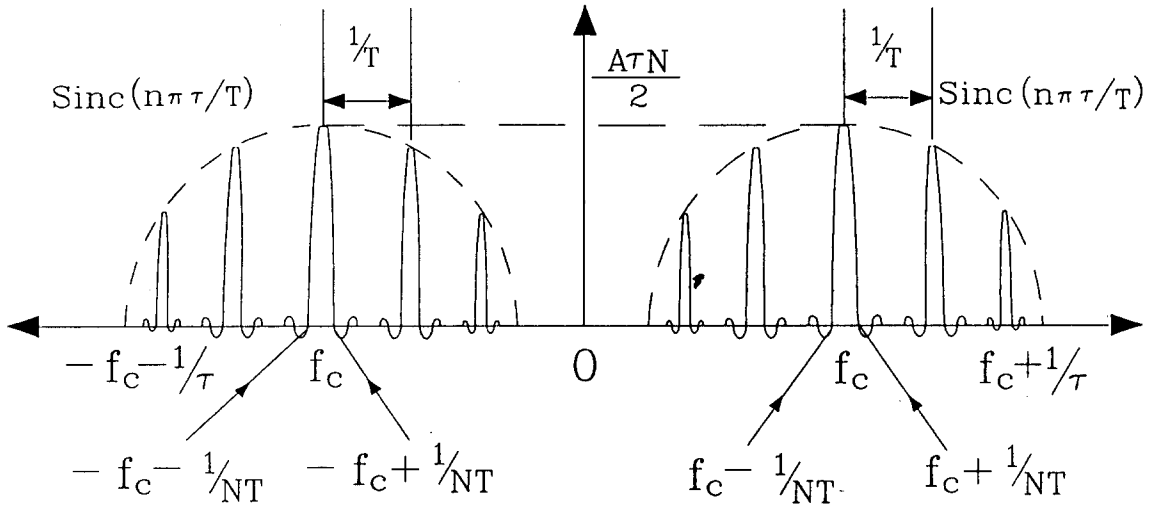
$$\text{방위방향 성분: } v(kT) = \exp(-j4\pi f_c VkT / \lambda) = \exp(-j2\pi mk / N) \quad (3)$$

로 주어진다. 여기서,  $PRF = 1/T = f_s$ , 도플러 주파수  $f_d = m\Delta f$ 로 표시되며,  $\Delta f$ 는 필터 बैं크의 बैं드폭,  $m$ 은 주어진 PRF 내에 들어있는 필터 बैं크의 수,  $N$ 은 푸리에 변환시 주파수 해상도를 나타내는 지수로써  $N = f_s / \Delta f$ 로 주어진다. 따라서, 윗식에서 보는 바와 같이 거리방향 신호는 거리셀 단위로 펄스압축과 같은 정합필터를 이용할 수 있고, 방위방향 신호는 도플러 필터를 이용하여 표적 신호를 탐지할 수 있다. 표적의 도플러 주파수보다 낮은 PRF를 사용하는 레이더에서는 신호의 샘플링 원리에 의

해 도플러 주파수 중첩(Aliasing) 효과가 나타나서 정확한 표적 속도 성분을 찾기 어렵다는 것을 알 수 있다.

(2) 스펙트럼 영역 특성

주파수 영역에서 신호의 특성은 송신펄스의 대역폭, 펄스반복 주파수, 스펙트럼선의 수 및 송신 주파수 등에 의하여 결정된다. 송신하고자 하는 레이더 파형 신호  $m(t)$ 는 펄스 폭이  $\tau$ 이고 주기가  $T$ 인 단순 펄스 신호로 가정하고  $N$ 개의 펄스를 CPI 시간 단위로 게이트 함수에 의해 드웰 시간 동안 송신하고 수신하는 경우를 고려한다. 각 신호를 주파수 콘볼루션을 이용하여 송신 주파수  $\cos(\omega_c t)$ 와 변조된 송신 신호를 주파수 스펙트럼으로 도시하면 [그림 5]와 같다. 주파수 성분은 캐리어와 양 측파대로 나뉘어지며, 전체 진폭 특성은 Sinc 특성을 가진다. 스펙트럼선은 PRF 간격이고 펄스 폭이 좁을수록 전체 대역폭은 넓어지고, CPI 동안에 누적하는 펄스수가 많을수록 각 스펙트럼 라인의 बैं드폭은 좁아진다. 레이더 표적 및 클러터 성분은 각 PRF 스펙트럼 선을 중심으로 반복적으로 함께 존재하며, 이동 표적은 송신 주파수로부터 도플러 편이 크기 만큼 이동되어 PRF 밴드 사이에 나타난다. 이동 표적의 도플러 주파수는 근접하는 표적에 대해서는 “+”로 나타나고, 멀어지는 표적에 대해서는 “-”로 나타난다. 그림과 같이 MTI 필터는 첫번째 PRF라인



[그림 5] 레이다 펄스 신호 스펙트럼

사이에 하나의 대역통과 필터가 있는 경우이고, 도플러 필터뱅크는 이 구간사이에 다수의 협대역 필터를 사용하여 클러터 성분을 제거하고 표적 성분을 통과시키는 역할을 한다. 물리적으로 볼 때 표적의 도플러 주파수 성분을 추출하기 위해서는 동일 표적에 대하여 하나의 펄스만을 보내어 샘플해서는 얻을 수 없으므로 주어진 CPI 동안 다수의 펄스를 N개 모아서 PRF 선의 대역폭이  $1/NT$ 가 되도록 하여 코히어런트 위상정보를 추출할 수 있게 된다. 이러한 대역폭을 정보대역 이라고 하며, 이 대역폭으로 도플러 필터 बैं크를 선정하면 표적의 스펙트럼 에너지를 손실없이 수신할 수 있다.

### 3. 레이다 신호처리 단위

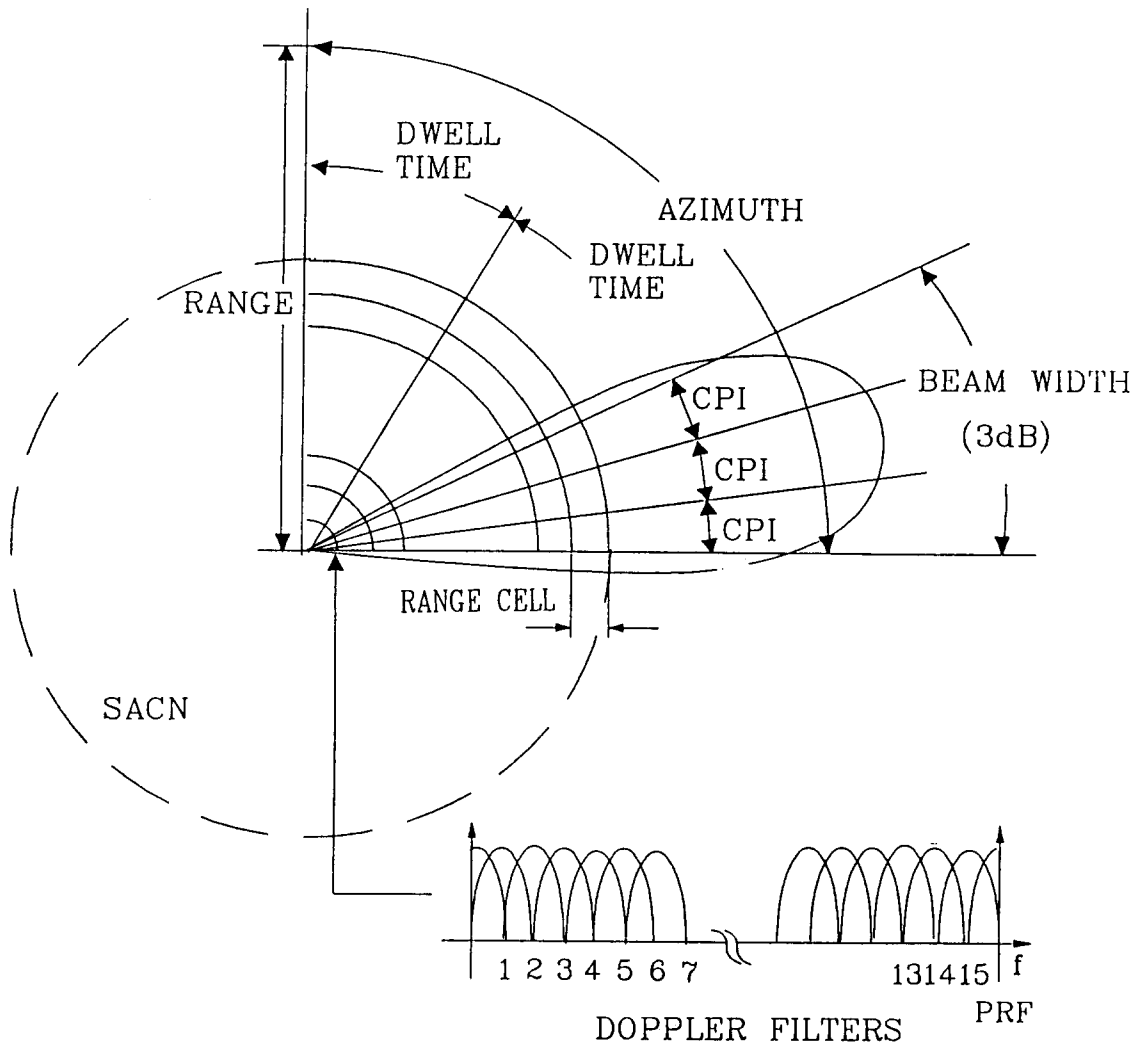
레이다가 표적을 탐지하기 위해서는 PRF 단위로 들어오는 수신 펄스 신호를 일정한 시간단위로 샘플링하여 처리하게 된다. PRF는 레이다가 표적의 움직임을 바라보고 표적 신호를 샘플링하는 주파수가 되며, 표적의 이동속도와 표적이 머무는 거리에 따라서 적절한 표적 샘플링 PRF를 정하여 사용한다. 송신 및 수신하는 단위는 표적이 주어진 안테나 3dB 빔폭 내에 머무는 시간 동안 신호를 송신하고

반사신호를 수신하여 이루어지게 된다. 이 단위를 드웰 시간(Dwell Time) 또는 표적 주사시간(Target Illumination Time)이라고 하는데 이것은 주어진 안테나 회전율(RPM)과 안테나의 3dB 빔폭의 크기에 따라 정해진다. [그림 6]에 레이다 신호처리 기본 단위가 도시되어 있다. 그림에서와 같이 드웰 시간 내에서는 표적의 움직임이 동일 빔내에서 이루어지므로 반사신호가 위상의 연속성을 유지할 수 있고 펄스 도플러 신호를 코히어런트 처리하기 위하여 주어진 드웰 시간내에서 몇개의 블록으로 나누어서 도플러 위상정보를 처리하는데, 이 시간 단위를 CPI(Coherent Processing Interval)라고 한다. 그리고 주어진 탐지 거리 범위 내에서 송신 펄스폭에 해당하는 거리 해상도에 따라 거리를 셀(Cell) 단위로 나누어 처리한다. 그리하여 동일 거리셀을 방위각 방향으로 CPI 동안 모아서 도플러 필터를 구성하는데 이를 도플러 필터 밴드 셀이라고 한다.

### 4. 레이다 신호처리 원리

디지털 신호처리 기술을 이용하여 레이다 신호처리를 구성하면 [그림 7]과 같은 기능들을 포함할 수 있다. 수신기를 통하여 들어온 아날로그 신호는

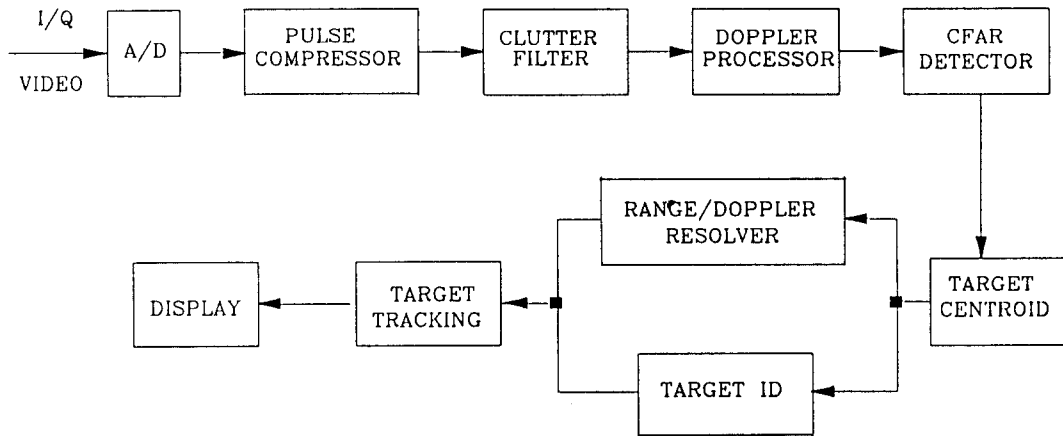




[그림 6] 레이다 신호처리 단위

A/D변환기를 이용하여 먼저 디지털 신호로 바꾼다. 펄스 반복주기 동안 특정 거리셀로부터 반향되어 들어오는 송신펄스와 수신펄스 신호의 변화를 거리셀 방향으로 처리하여 신호대 잡음비를 향상시키기 위해 정합필터(Matched Filter)를 거친다. 특히 송신출력을 증가시키지 않으면서 탐지거리를 증가시키기 위해서, 송신시 주어진 펄스폭을 확장하여 특정 코드를 포함한 파형을 변조하여 송신하고 수신시에 이를 송신코드에 정합시켜서 원하는 거리 해상도를 얻을 수 있는 펄스압축(Pulse Compression)

과정을 거친다. 레이다 표적으로부터 반사되는 신호 중에는 주변의 불필요한 클러터나 간섭 잡음을 포함하고 있으므로 이를 제거하기 위해 클러터 필터를 거치게 된다. 이들 펄스 신호를 동일 거리셀 단위로 방위각 방향으로 드웰시간 동안 모아서 도플러 성분이 없는 정적인 클러터 성분은 필터로 제거하고 도플러 편이 성분이 있는 이동 표적 신호는 통과시키는 필터링 기능을 이동표적 지시기(MTI)라고 한다. 이 경우는 PRF 내에 하나의 대역 필터만 존재하므로 이동표적 성분은 통과시킬 수 있지만 표적신



[그림 7] 레이다 신호처리 구성도

호가 클러터 성분과 복합적으로 존재할 때 이들을 분리하여 탐지하기 어렵다. 이러한 경우에 표적 신호의 도플러 성분을 탐지하기 위하여 PRF 내에 다수의 협대역 필터 बैं크를 구성하여 코히어런트 펄스 누적을 수행하는데, 이러한 과정을 도플러 필터링이라고 한다. 이때 동일 위상의 표적신호 벡터성분은 강화되고 위상 변화가 일정하지 않은 잡음신호의 벡터 합은 상대적으로 작아지기 때문에 신호대 잡음비가 높을 뿐만 아니라 다수의 협대역 필터를 이용하여 표적의 도플러 주파수 성분 추출도 용이한 방식이다. 일단 클러터를 제거한 후, 주어진 레이다 주변 환경 신호특성을 고려하여 표적 탐지 확률을 높이면서 동시에 잡음성분으로 인한 오탐지율을 일정하게 유지시킬 수 있는 CFAR(Constant False Alarm Rate) 탐지기를 거쳐서 특정 거리셀에 있는 표적의 위치를 판단하게 된다. 이러한 과정에서 표적 셀을 중심으로 주변 잡음 크기의 문턱치를 비교할 때 단순히 거리 축으로 반사신호의 진폭크기 성분만을 이용하는 경우를 Range-CFAR 탐지기라고 한다. 그러나 각 거리 셀의 진폭크기를 몇 개의 펄스군으로 모아서 협대역의 도플러 정보 밴드 별로 나누어서 거리 및 도플러 영역에서 각각 주변셀의 진폭 크기를 비교하여 표적을 탐지하는데 이를 Range/Doppler-CFAR처리라고 한다. 일단 탐지된 표적은

주어진 거리, 방위, 고도 및 속도 필터 셀 주변에 분포된 표적성분을 잠정적인 표적으로 탐지한 것이므로 이러한 분산된 정보군으로 부터 표적의 중심 거리, 방위, 고도, 및 속도 등을 찾는 과정을 표적 중심 추출이라 한다. 또한, 탐지된 표적의 정체에 대한 정보를 얻기 위해 표적을 분류 및 식별과정을 거치고, 표적의 움직임을 추적하여 최종적으로 확인된 표적은 그래픽 전시 장치를 통하여 표적의 행적 변화 상황을 도시하여 준다.

\* 다음호에 2회가 계속됩니다.

### 참고 문헌

- [1] M. Skolnik, *Radar Handbook*, 2nd Edition, McGraw-Hill, 1990.
- [2] C. Schleher, *MTI and Pulse Doppler Radar*, Artech House, 1991.
- [3] F. Nathanson, *Radar Design Principles: Signal Processing and Environment*, 2nd Edition, McGraw-Hill, 1990.
- [4] Eli Brookner, *Aspect of Modern Radar*, Artech House, 1988.
- [5] B. Lewis, F. Kretschmer, Jr., and W. Shelton, *Aspects of Radar Signal Processing*, Artech

- ch House, 1986.
- [6] R. Nitzberg, *Adaptive Signal Processing for Radar*, Artech House, 1992.
- [7] A. Farina, *Antenna-Based Signal Processing Techniques for Radar Systems*, Artech House, 1992.