

비행체의 전자파 영상화 기술동향

윤용수* · 이재천**

고등기술연구원 방산기술센터*, 아주대 시스템공학과**

A Perspective on the Electromagnetic Imaging of Aircrafts

Yong-Soo Yoon* and Jae-Chon Lee**

Dual Use Technical Center/IAE*, Department of Systems Engineering/Ajou Univ. and IAE**

Abstract : So far, the remote sensing technology has widely been used in a variety of application areas such as military, medical imaging, environment, geology and so forth. The microwave remote sensing uses the wavelengths ranging from around one centimeter up to a few tens of centimeters and is known to be very effective regardless of the weather conditions and the day/night time as compared with the reflective InfraRed (IR) remote sensing or the thermal IR remote sensing. There are three generic modes of synthetic aperture radar imaging systems depending on its application, that is, stripmap mode, spotlight mode, or inverse mode. In this article we focus on the issue of imaging of flying aircrafts for the inverse mode of a ground-based, fixed radar with moving objects. The imaging of flying aircrafts is considered to be an important step for the automatic target recognition systems, and therefore a great deal of efforts have recently been made on the subject. Here we review the three representative methods including the Fourier transform processing, the time-frequency processing, and the reconstruction from the projection. Some relative merits and drawbacks are also discussed.

Key Words : Microwave remote sensing, Imaging of flying aircrafts, Fourier transform processing, Time-frequency processing, Reconstruction from the projection

요 약 : 원격탐사 관련 핵심기술은 최근에 국방, 의료영상, 환경, 지질 등과 같은 광범위한 분야에서 활용범위를 확대하고 있다. 1 cm~수십 cm 파장의 파를 관측하는 마이크로파 원격탐사 기술은 반사 적외선 원격탐사나 열 적외선 원격탐사 기술에 비해 날씨조건과 밤낮에 관계없이 탐사를 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 마이크로파 영상레이더인 합성 개구 레이더를 이용한 영상화 방식은 응용목적에 따라 stripmap 방식, spotlight 방식, 그리고 inverse 방식으로 구분된다. 본 논문에서는 inverse 방식으로 지상에 고정된 레이더가 비행하는 항공체를 영상화하는 기법에 대해서 기술하였다. 비행 항공체의 영상화 기법은 자동 표적인식 시스템 구축시 중요한 기술단계이며, 최근 이 분야에 대해 활발히 연구되고 있다. 비행 항공체를 영상화하기 위해 제안된 3가지 방식인 푸리에 처리 기법, 시간-주파수 처리 기법, 그리고 투시로부터 복원 기법을 소개한 후, 각 방식의 장단점을 분석하였다.

1. 서론

원격탐사 기술은 관측 물체나 지형, 또는 지구 표면 및 대기권의 환경등을 직접적인 접촉없이 관측 대상으로 부터 반사 또는 발광되는 고유의 특성을 인공위성이나 항공기, 또는 지상에 설치된 센서로 감지하여 그 관측대상을 관측 또는 감시하는 것이다(JARS, 1993).

최근에는 영상레이다를 이용한 마이크로파 원격탐사가 활발히 활용되고 있는데(김, 1996), 가시영역(visible) 또는 반사 적외선 영역(reflective infrared) 원격탐사나 열 적외선 영역(thermal IR) 원격탐사에 비해서 훨씬 파장이 긴 마이크로파를 사용하기 때문에 구름이나 비를 통과하며, 태양광선의 반사를 이용하지 않기 때문에 날씨조건과 밤낮에 관계없이 탐사를 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있다(JARS, 1993; Lillesand, 1994). 영상 레이다를 이용한 마이크로파 원격탐사 기술은 지형/해양관측, 또는 자동 표적탐지 및 인식의 목적으로 국방분야에서 활발히 활용되고 있으며, 우주탐사에도 활용되고 있다.

마이크로파 원격탐사 기술은 합성 개구 레이다(synthetic aperture radar)와 같은 영상레이다의 합성 배열 안테나를 이용하여 표적으로부터 시간 지연형태로 전달되는 산란신호를 수신하여 표적영상을 생성하거나, 전파 산란계수를 측정하는 scatterometer 장치를 사용하여 풍속을 측정하거나 표적의 제반 특성을 추출하는데 활용되기도 한다. 또한, 센서에서 표적까지의 수직거리를 측정하는 altimeter를 사용하여 해양 표면의 탐사에 활용하기도 한다.

특히, 합성 개구 레이다를 이용한 영상화 방식은 응용목적에 따라 stripmap 방식, spotlight 방식, 그리고 inverse 방식으로 구분된다. stripmap 방식은 탐사위성이나 항공기에 장착된 레이다 안테나를 플랫폼의 진행방향과 수직방향으로 고정시키고 플랫폼이 이동하면서 넓은 지역을 영상화하는 방식으로서 상관함수를 이용하거나 $\omega-k$ 또는 wavenumber를 이용한 영상화 기법이 있다.

spotlight방식은 안테나를 고정시키지 않고 플랫폼이 이동하여도 안테나는 특정지역을 집중적으로 영상화하는 방식으로 stripmap 방식에 비해 향상된 분해능을 얻을 수 있고, 동일지형을 여러각도에서 측정할 수 있는 장점이 있다. 반면에 inverse 방식은 지상에 고정된 레이다가 이동하는 물체를 영상화하는 방식으로서 비행 항공체, 지상 이동물체, 적 함선, 그리고 우주행성의 영상화에 활용된다. 또한 inverse 방식으로 획득된 데이터는 이동물체는 고정되어 있고 레이다가 관측물체의 속도로 이동하면서 얻은 데이터와 같으므로, inverse 방식의 신호처리 과정은 spotlight 방식과 등가적으로 동일하다고 볼 수 있다.

본문에서는 마이크로파 원격탐사 기술의 국방분야 응용으로써 지상에 설치된 영상 레이다를 사용하여 가변속도로 이동하는 항공 비행체를 영상화하는 inverse 방식에 대하여 논 하였다. 비행체의 고해상도 영상을 획득하여 시각으로 인식하거나(Perlow, 1997), 비행체의 특징량을 추출하여 분류함으로써 임의의 가변속도 비행체를 자동적으로 인식하는데 활용(Zyweck, 1996) 될 수 있다. 비행체 인식을 위한 중요한 기술요소인 효과적 고해상도 영상을 획득하기 위한 방법으로써 최근에 제안된 기법은 푸리에 처리기법(Fourier transform processing method)(양, 1994; Chen, 1997), 시간-주파수 처리 기법(time-frequency processing method)(Chen, 1997), 투시로 부터 복원기법(reconstruction from the projection)(Dai, 1997)이 있다. 푸리에 처리 기법은 종래에 제안된 기법으로써 1차원의 푸리에 변환을 적용하여 거리(range)와 교차거리(cross-range) 차원에 표시되는 표적 영상을 획득하는 기법이며, 투시로부터 복원기법은 역 Radon 변환(inverse Radon transform)을 사용하여 표적의 산란 전자기장(scattered electro-magnetic field)으로부터 thickness 함수로 표시되는 영상을 획득하는 방법이다. 투시로부터 복원 기법은 회전에 의한 산란 전자기장 측정의 어려움과 많은 계산량이 필요하다는 단점이 있다. 반면에, 시간-주파수 처리 기법은 가변속도로 이동함으로써 발생하는 시변

도플러 주파수 변화를 종래의 복잡한 움직임 보상 (motion compensation) 없이 고해상도 영상을 획득할 수 있게 한다. 또한, 시간-주파수 처리 기법으로 획득된 영상은 시간-거리-교차거리 차원으로 표시되는 고해상도 영상 프레임이므로, 이를 시간 샘플링하면 시간 변화에 대한 표적 영상을 획득할 수 있다.

다음 장에서는 inverse 방식에서 가변속도로 이동하는 비행체의 영상을 획득하기 위해 제안된 3가지 기법의 처리과정과 주요특징을 기술한 후, 맺음말에서는 내용을 요약정리 하였다.

2. 비행체 영상화 기술

1) 문제정의 및 개요

그림 1에 도시한 것과 같이 지상에 설치된 배열형태의 마이크로파 센서로 부터 비행체 표적을 영상화하는 기법을 본 장에서 기술 하고자 한다.

지상에 고정된 레이더 센서는 비행체를 향하여 전자기파를 송신하고, 가변속도로 이동하는 표적으로 부터 산란된 신호는 시간지연을 갖는 다중경로(multipath)를 통해 다시 센서에 수신되며 이를 신호처리하여 영상화하는 것을 "비행체 영상화"

라 정의하자. 원거리의 비행체는 하나의 점 산란원(point scatterer)으로 근사화 할 수 있으나, 일반적으로 비행체는 다수의 점 산란원으로 구성된 것으로 가정할 수 있다. 비행체의 산란특성은 표적의 특성을 나타내며, 센서에 수신된 신호는 다음과 같이 표적의 다수 점 산란원으로 부터반사된 신호의 합으로 표시할 수 있다(Chen, 1997).

$$S(f, t) = \exp[-j4\pi R(t)/c] \int_{-\infty}^{\infty} \rho(x, y) \exp\{-j2\pi[xf_x(t) - yf_y(t)]\} dx dy$$

$$f_x = \frac{2f}{c} \cos \theta(t)$$

$$f_y = \frac{2f}{c} \sin \theta(t)$$

where,

$S(f, t)$; received signal samples, "frequency signature"

$\rho(x, y)$; target's reflectivity density function

$R(t)$; the range of target

$\theta(t)$; the rotation angle of the target

수식에서 $\exp[-j4\pi R(t)/c]$ 항은 움직임에 의한 주파수 영역에서의 상 지연(phase delay)을 나타낸다. 즉, 영상화는 수신된 주파수 기호(frequency signature)로 부터 표적의 반사밀도 함수(reflectivity density function)를 거리 및 교차거리

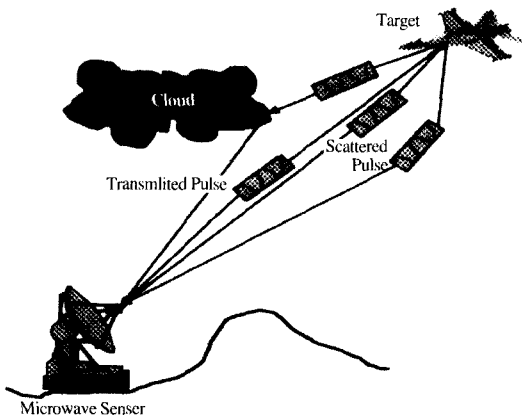


Fig. 1. The Concept of Imaging An Aircraft

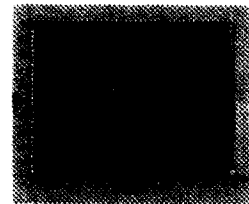


Fig. 1. Sensed Target Image



Fig. 2. Original Target Shape

차원에서 표시한 것으로 해석할 수 있다. 이때, 관측표적과 수신신호에 대한 다음과 같은 조건이 만족되어야 한다(Steinberg, 1988). 첫째, 표적크기에 대한 조건으로서 영상화될 표적의 크기는 $\frac{\lambda R}{2L}$ 보다 커야 한다. 여기서, λ 는 파장이며, R 은 센서에서 표적까지의 거리이고, L 은 센서 개구면의 크기를 표시한다. 둘째, 단위거리에서 측정된 표적의 역산란에 의한 수신 신호의 강도는 기타 다른 점산란원으로 산란된 신호 합의 강도보다 최소한 4 dB보다 커야한다. 영상은 거리 및 교차거리 차원에서 표시됨으로 두 종류의 해상도를 정의할 수 있다(Chen, 1997; Steinberg, 1988). 우선, 거리(range)는 지상에 투시된 표적으로부터 센서까지의 거리로 정의되며, 거리 해상도는 송신 신호의 대역폭과 관계된다. 교차거리(cross-range)는 거리와 직교하며 표적의 움직임 방향으로의 거리로 정의되며, 교차거리 해상도는 안테나의 빔폭에 의해 결정되며 안테나 길이에 비례하고 합성 개구면의 길이에는 반비례한다. 그러므로, 고해상도의 교차거리 영상을 획득하기 위해 길이가 긴 안테나를 사용하는 대신, 합성 배열형태(synthetic array)의 안테나를 사용함으로써 길이를 축소할 수 있다.

센서로부터 가변속도로 이동하는 비행체에 전자파 신호를 송신하여 역산란된 수신신호로부터 영상을 획득하는 문제에서 고려되어야 할 세부 과정은 다음과 같다.

첫째, 무선채널 환경에서 발생하는 다중경로(multipath)와 간섭(interference) 현상이다. 역산란에 의해 센서에 수신되는 표적신호는 다중경로(multipath)와 간섭(interference) 현상의 영향을 받으며 수신된다. 근거리 표적일때 전달신호는 구면파로 표현되며, 시간지연에 의해 발생하는 상 변화(phase variation)는 quadratic 형태로 표시된다. 반면에 원거리 표적일때 전달신호는 평면파로 선형적인 상 변화를 갖는것으로 근사화된다. 본 원고에서는 표적이 원거리에 있는 것으로 가정하였다(양, 1994; Chen, 1997; Steinberg, 1988).

둘째, 전처리 단계인 빔형성(beamforming) 단계이

다. 수신신호는 시간지연을 갖는 다중경로 현상과 간섭 현상에 의해 전달됨으로 시간 지연에 의한 수신신호를 보상하고 간섭 및 잡음을 차단함으로써 감도 좋은 수신신호를 획득하는 단계가 필요하다. 이를 위해 오차신호를 이용한 수신신호에 대한 필터 계수를 반복개선하여 빔을 형성하는 적응 빔형성(adaptive beamforming) 기법이 사용된다(Steinberg, 1988).

셋째, 빔형성된 수신신호로부터 표적의 반사밀도 함수를 구하여 표적 형상을 영상화하는 단계이다. 현재 제안된 기법은 푸리에 변환 처리(Fourier transform processing) 기법, 시간-주파수 처리(time-frequency processing) 기법, 그리고 투시로 부터의 복원(reconstruction from projection) 기법이 있다.

넷째, 상기 과정으로 획득된 비행체 영상들로부터 입체 영상을 재현하거나(Perlow, 1997), 특징량을 추출(feature extraction), 분류(classification)하여 표적을 자동적으로 인식하는 자동 표적인식(automatic target recognition) 단계를 고려할 수 있다(Zyweck, 1996). 본 원고의 다음절에서는 영상화 단계에 대한 3가지 기법의 처리과정및 특징을 기술한다.

2) 푸리에 변환 처리(Fourier transform processing) 기법(양, 1994; Chen, 1997)

(1) 개요

전체 관측시간 동안 비행체 이동속도가 일정하여 도플러 주파수 변이가 고정상태(stationary)이며, 비행체의 산란원들이 각 거리 셀(range cell)에 있다고 가정하면, 즉 관측시간 동안에 비행체는 일정한 속도로 이동하며 비행체의 거리 및 이동속도는 정확히 알 수 있다면 수신신호의 주파수 기호(frequency signature)는 다음과 같이 표현된다.

$$S(f, t) = \exp[-j4\pi R(t)/c] \int_{-\infty}^{\infty} \rho(x, y) \exp \{-j2\pi[xf_x(t) - yf_y(t)]\} dx dy$$

$S(f, t)$ 에 움직임 보상을 수행한 후, 거리 및 도플

러 차원에 역 푸리에 변환과 푸리에 변환을 적용함으로써 거리 및 도플러 차원에서 표시되는 영상을 획득 할 수 있다.

(2) 움직임 보상기법(motion compensation or focusing)

측정시간에 대한 거리 R을 추정하여 움직임에 의한 $\exp[-j4\pi R/c]$ 을 보상하는 것을 "움직임 보상"이라 한다. 움직임 보상은 종래의 움직임 보상기법(conventional motion compensation)과 복잡한 움직임 보상기법(sophisticated motion compensation)으로 분류할 수 있는데, 종래의 움직임 보상기법은 표적 전체에 대한 총괄 보상기법으로써 표적내 한개의 주 산란원(dominant scatterer)의 상 지연 정보를 이용하여 움직임에 대한 전체 도플러 스펙트럼을 보상하는 기법이다. 주로 표적이 평활하게 이동하는 경우에 적용된다. 반면, 복잡한 움직임 보상 기법으로는 polar reforming 방법과 subaperture 방법이 있다. 표적이동 변화가 많을 때는 여전히 큰 움직임 오차가 발생하는 단점이

있다.

(3) 처리과정

합성배열 형태의 마이크로파 센서(영상 레이더)를 사용하여 M개의 stepped-frequency 펄스 파형으로 구성된 N개의 열(burst)을 비행체에 송신한다. M개 펄스의 각 중심 주파수를 Δf 만큼 증가시켜 펄스 파형을 구성한다. 그러므로, 거리 해상도는 $M \times \Delta f$ 이며, 도플러 해상도는 전체 열의 수인 N이 된다. $\frac{2R(t)}{c}$ roundtrip 시간 지연후, 수신된 주파수 기호 $S(f, t)$ 에 거리 및 도플러 일치 수행한 후, $M \times N$ 차원의 주파수 기호 배열을 형성한다. 움직임 보상을 적용하여 $\exp[j4\pi R/c]$ 를 보상시킨 $\exp[j4\pi R/c]S(f, t)$ 를 형성한 후, N개의 주파수 기호 각각에 대해 1차원 M-점 역 푸리에 변환을 적용하여 거리 차원에 대한 계산을 수행한다. 그래서, 거리 처리에 의해서 M개의 거리 셀로 구성되어지며 거리 차원에서 비행체 반사함수의 공간분포를 나타내는 N개의 거리 profile이 생성된다. 유사한 방법으로, 각 거리 셀에 대하여 1차원

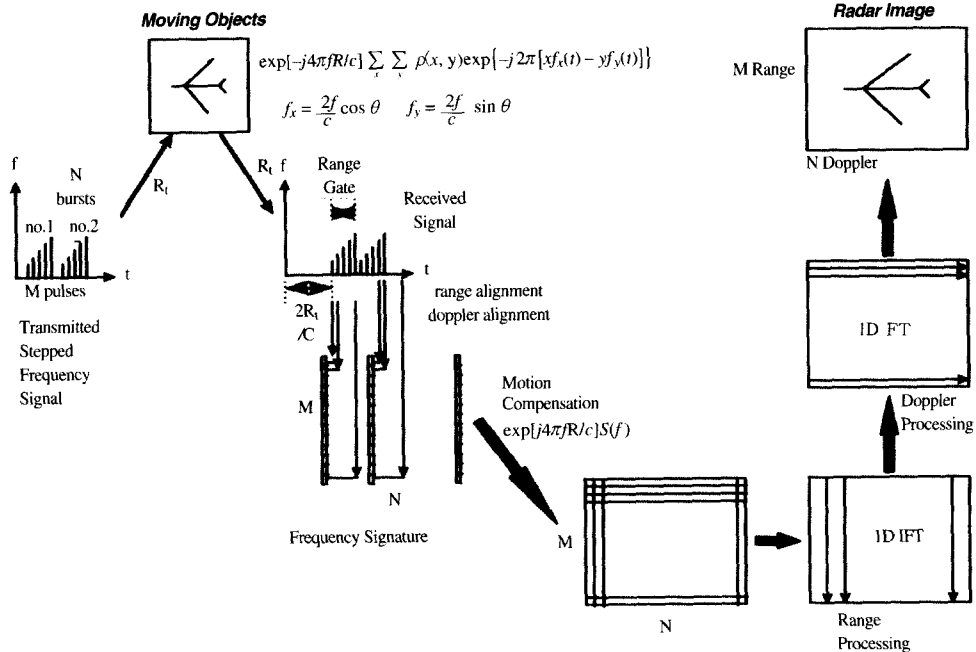


Fig. 2. The Processing Steps of Fourier Transform Method

N-점 푸리에 변환을 적용한 도플러 처리에 의해서 도플러 profile이 생성된다. 그러므로, M x N 거리-도플러 차원의 비행체의 영상을 획득하게 된다.

(4) 요약

종래에 제안된 기법으로 표적의 이동속도가 일정하다는 가정하에 수신된 주파수 기호에 대해 1차원 푸리에 변환으로 거리 및 교차거리(또는 도플러) 처리를 수행하여 영상화하는 기법이다. 복잡한 움직임 보상(motion compensation)기법을 사용하여 표적의 움직임에 대하여 보상한다. 그러나, 실제 표적은 가변속도로 이동함으로 시간에 따라 도플러 주파수가 변하여 종래의 푸리에 변환처리에 의해서 생성된 영상은 교차거리 해상도에서 저하현상(degradation)이 발생한다. 또한, 복잡한 움직임 보상기법을 사용하더라도 선명하지 않은 영상(blurred image)이 생성된다.

3) 시간-주파수 처리(time-frequency processing) 기법(Chen, 1997)

(1) 개요

종래 기법에서 가정하였던 비행체의 가변속도 이동으로 발생하는 도플러 주파수의 시간적 변화를 고려하여 기존의 복잡한 움직임 보상기법 없이 교차거리 해상도에서 발생하는 영상의 선명하지 않은 현상을 감쇄시켜 고해상도 영상을 획득하는 기법이다. 도플러 처리에 시간-주파수 변환(time-frequency transform)을 적용하여 각 시간단위(time slice) 동안에는 일정한 도플러 주파수 천이를 유지하여 움직임 오차를 감쇄시켜며, 각 시간단위에 대한 영상을 생성시켜 3차원의 시간-거리-도플러 비행체 영상 프레임을 생성 할 수 있다. 종래의 기법에 복잡한 움직임 보상을 적용하여 획득한 영상이 선명하지 않을때, 시간-주파수 처리 기법을 적용하면 고 해상도의 영상을 획득할 수 있다. 또한, 주파수 분할처리에 대해서는 표적의 역산란 중심점(backscattering center)과 공진(resonance)을 생성시키므로 자동 표적인식(ATR)을 위한 표적 특징점(target feature)을 제공하여

준다.

비행체 관측방법은 앞절에 기술한 내용과 동일하며, 종래기법의 가정과 움직임 보상이 시변 도플러 처리를 위해 시간-주파수 변환을 적용한다. 시변 도플러 주파수를 고려한 수신된 주파수 기호 $S(f, t)$ 는

$$S(f, t) = \exp[-j4\pi R(t)/c] \int_{-\infty}^{\infty} \rho(x, y) \exp\{-j2\pi[xf_x(t) - yf_y(t)]\} dx dy$$

거리 처리는 1차원 역 푸리에 변환을 적용하며, 도플러 처리에는 시간-주파수 변환을 적용함으로써 시간-거리-도플러 3차원으로 표시되는 영상프레임을 생성한다.

(2) 시간-주파수 변환
(time-frequency transform)

시변 주파수 특성을 처리하기 변환으로써 STFT(short time frequency transform)와 wavelet 변환과 같은 선형 변환과 Wigner-Vill distribution과 같은 양방향 선형(bilinear) 변환으로 구분 할 수 있다. Wigner-Vill distribution은 다른 선형 변환에 비해 더욱 효과적인 시변 스펙트럼 특성을 제공하며, 또한 항목 상호간의 간섭을 줄인 filtered Wigner-Vill transform을 사용한다. 지역필터를 가진 Wigner-Vill distribution은 Cohen class라 하며, 비선형 지역필터를 가진 Wigner-Vill distribution은 TFDS (time-frequency distribution series)라 한다. 적응 spectrogram과 matching pursuit와 같은 적응 시간-주파수 변환(adaptive time-frequency transform) 또한 시변 주파수 특성을 처리하기 위해서 사용되는 변환이다.

(3) 처리과정

앞 절과 동일하게 M개의 stepped-frequency 펄스파형으로 구성된 N개의 열(burst)을 가변속도로 이동하는 행체에 송신하여 영상 레이다에 수신되는 주파수 기호 $S(f, t)$ 에 거리 및 도플러 일치를 수행 한 후 M x N 차원의 주파수 기호 배열을 형성한다. 움직임 보상기법 없이 N개의 주파수 기호 각각에 대해 1차원 M-점 역 푸리에 변환을

적용하여 거리 처리를 수행한다. 시변 도플러 처리를 위해 시간-주파수 변환을 적용함으로써 시분할에 의한 단위시간(time slice) 동안에 도플러 주파수 천이는 일정하게 되며, 시간 순간마다 각각의 산란원은 고유의 거리와 도플러 변이를 가지고 있으므로 산란원간의 중첩(overlapping)은 발생하지 않아 고해상도의 영상을 얻을 수 있다. 시변 도플러 처리에 의해 생성되는 3차원의 시간-거리-도플러 영상프레임을 시간 샘플링함으로서 얻어지는 각각의 영상들은 고해상도 영상일 뿐만 아니라 시간흐름에 따른 영상변화를 보여 준다.

(4) 표적의 역산란 특징점 추출

(extraction of target's backscattering feature)

표적내의 각각 다른 산란원으로 부터의 산란은 다른 시간 및 주파수 특성을 갖는다. 그러므로, 표적 산란원의 시간종속 주파수 특징점은 시간-주

파수 처리(time-frequency processing)에 의해서 추출될 수 있다. 비행체 영상의 각 교차거리 셀의 거리 profile에 시간-주파수 변환을 적용하면 주파수-거리-교차거리 차원에서 표시되는 3차원 영상이 생성된다. 획득된 3차원 영상을 주파수 샘플링하면 각 주파수에 대한 표적 산란 중심점(scattering center)이 얻어지며, 공진 주파수와 근접한 주파수에서는 공진 정보를 얻을 수 있다.

(5) 요약

실제 표적은 가변속도로 이동함으로써 시변 도플러 주파수가 되어 종래의 푸리에 변환처리에 의해서 생성된 영상은 교차거리 해상도에서 저하현상이 발생하며, 복잡한 움직임 보상기법을 사용하더라도 선명하지 못한 영상이 생성된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 시간-주파수 처리 기법이 제안되었으며, 고해상도의 영상을 생성할 뿐

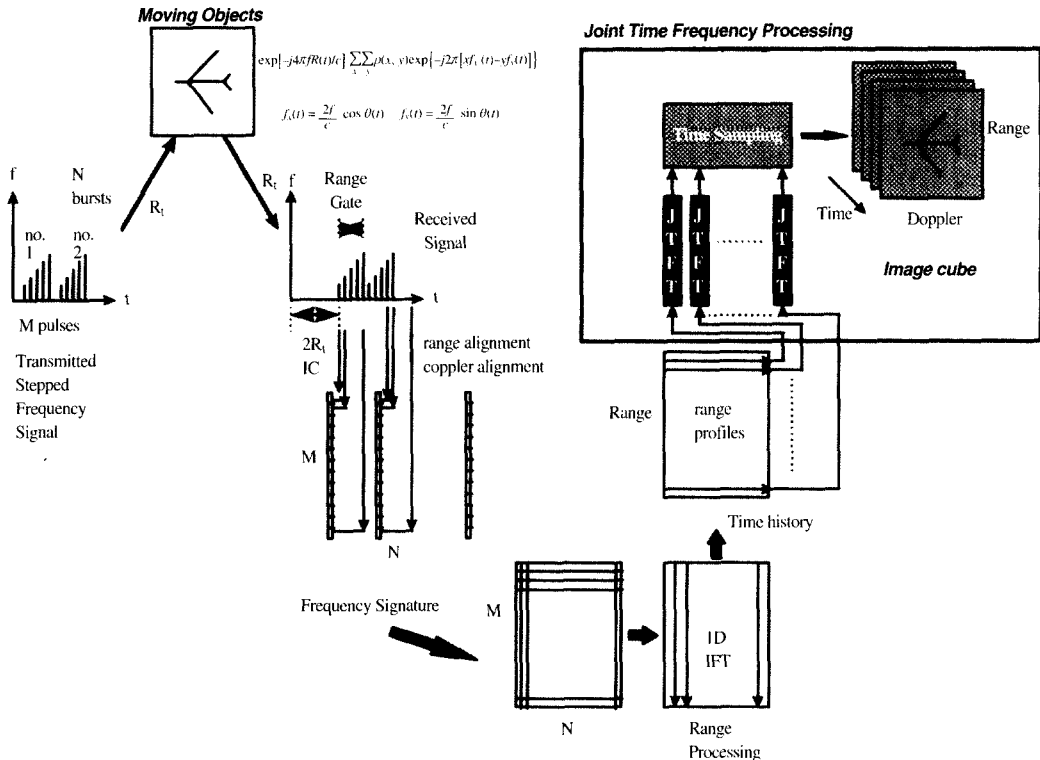


Fig. 3. The Processing Steps of Time-Frequency Method

아니라 시간변화에 따른 3차원의 비행체 영상프레임을 생성한다. 시간-주파수 처리 기법의 특성은 다음과 같다.

- 첫째, 기존의 푸리에 변환 기법에서 가정한 조건은 필요하지 않으며,
- 둘째, 시변 도플러 주파수 처리를 위해 시간-주파수 기법을 사용함으로써 종래의 복잡한 움직임 보상없이 고 해상도의 3차원 영상프레임을 얻을 수 있으며,
- 셋째, 급격한 속도변화로 이동하는 표적에 종래의 움직임 보상을 적용하면 불선명한 영상이 생성되는데, 여기에 시간-주파수 기법을 적용하면 영상의 저하현상을 감쇄시킬 수 있다.
- 넷째, 표적의 역산란 특징점을 획득할 수 있고, 프로펠러와 같은 회전부문에 대한 회전비를 추정할 수 있다.

4) 투시로 부터의 복원(reconstruction from projection) 기법(Dai, 1997)

(1) 개요

비행체의 산란점에서 산란된 전자자기장으로 부터 표적의 투시영역 함수(projected area function)을 산출하고 이로부터 2차원 역 Radon 변환을 적용하여 표적의 영상을 나타내는 thickness 함수를 계산하는 기법이다. 투시로 부터의 복원기법은 시간 영역 처리를 기반으로 하며, 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- 첫째, 시간영역에서의 처리이며, edge의 해상도가 높은 영상이 생성된다.
- 둘째, 상기에서 기술한 기존의 시간영역 기반의 역산란 문제에 대해 개선된 해를 제공하는 장점이 있으나,
- 셋째, 회전에 의한 산란 전자기장 측정의 어려움과 많은 계산량이 필요한 것이 단점이다.

(2) 처리과정

전자기장이 표적에 입사되면 표적에 전류와 전하가 유기되어 산란 전자기장이 발생한다. 즉, 표적 표면의 입시점에서의 표면전류 밀도를 구하면

원거리 표적에서 산란된 전자기장을 얻을 수 있다. 계산된 산란 전자기장으로 부터 입사파형에 대한 투시영역 함수를 구하여 2차원 역 Radon 변환을 하면 thickness 함수 $\Gamma(\rho)$ 를 구할 수 있다. 얻어진 thickness 함수에 filtered backprojection 기법을 적용하면 영상을 나타내는 thickness 함수 $\Gamma(x, y)$ 를 얻을 수 있다. 상기 과정으로 유도된 $\Gamma(x, y)$ 는 다음과 같다.

$$\Gamma(x, y) = \frac{a}{2N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(\phi_i, tk) q(tk - \rho i s + 2\rho' \cos(\frac{\beta}{2}) \cos(\phi' - \phi_i + \frac{\beta}{2}))$$

여기서, N개의 각도에서의 측정된 산란 전자기장이 필요함을 알 수 있다.

3. 맺은 말

첫째, 마이크로파 원격탐사 기술의 국방분야 응용으로서 지상에 설치된 마이크로파 센서를 사용하여(inverse 방식) 가변속도로 이동하는 비행체를 감지하여 영상화하는 기법을 소개하였다. 비행체 영상화 과정은 다음 4가지의 세부단계로 구분될 수 있다. 즉, 다중경로(multipath)와 간섭(interference)에 의한 수신신호의 전달단계, 효과적인 빔형성(beamforming) 단계, 표적의 영상화 단계, 그리고 입체영상의 재현 또는 자동 표적인식 단계이다. 자동 표적인식을 위한 중요한 기술요소는 고 해상도 표적 영상을 효과적으로 획득하는 것이다. 이와 관련하여 현재 제안된 3가지의 영상화 기법을 상호비교 기술하였다.

둘째, 제안된 3가지 기법중 시간-주파수 처리 기법은 기존의 푸리에 변환처리 방식에 비해 비행체 움직임 속도변화에 의해서 발생하는 도플러 주파수의 시변현상을 교차거리 처리시에 시간-주파수 변환을 적용함으로써 종래의 복잡한 움직임 보상 기법 없이도 고해

상도의 3차원 영상프레임을 획득할 수 있다. 즉, 기존의 접근방식에서 요구되어진 제약사항과 움직임 보상이 필요하지 않게 된다. 또한, 각 교차거리 셀의 거리 정보에 시간-주파수 변환을 적용하면 주파수-거리-교차거리에서 표시되는 3차원 영상프레임을 얻을 수 있고, 이를 주파수 샘플링하면 주파수에 따른 비행체의 산란중심점과 공진 성분을 획득할 수 있다

셋째, 상기 기술된 방법으로 획득된 두개의 영상으로부터 깊이 정보를 추출하여 입체 영상으로 재현하거나, 비행체의 산란 중심점이나 영상 moment와 같은 특징점을 추출하여 분류 기법을 수행하면 자동으로 표적을 인식하는 시스템(자동 표적인식 분야)에도 활용할 수 있다.

참고문헌

김영수 외 2명, 1996. 원격탐사용 레이더의 기술동향, 대한전자공학회지 제23권 10호,
 양훈기 외 1명, 1994. ISAR에서 속도를 모르는 움직이는 물체의 이미징 알고리즘, 한국통신

학회지 5월

Chen, V., 1997. Applications of time-frequency processing to radar imaging, *Optical Eng.*, April
 Dai, Y., 1997. Time-domain imaging of radar targets using algorithms for reconstruction from projections, *IEEE trans. on antenna and propagation*, Aug.
 Lillesand and Kiefer, 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 3rd Ed., John Wiley & Sons Inc.,
 JARS, 1993. *Remote Sensing Note*, Japan Association on Remote Sensing
 Perlow, R. B. and B. D. Steinberg, 1997. Automatic stereo processing of high resolution radar imagery, *IEEE trans. on aerospace and electronic systems*, 33(3), July
 Steinberg, B. D., 1988. Microwave imaging of aircraft, *Proceedings of the IEEE*, Dec.
 Zyweck, A. and R. Bogner, 1996. Radar target classification of commercial aircraft, *IEEE trans. on aerospace and electronic systems*, 32(2), April