

논문 2012-50-3-25

# SAR(Synthetic Aperture Radar)시스템 요동보상기법 연구

## ( A Study on the Synthetic Aperture Radar System Motion Compensation Technique )

강 은 균\*, 나 극 환\*\*

( Eun-Kyun Kang and Keuk-Hwan Ra )

### 요 약

본 논문에서는 Synthetic Aperture Radar 시스템 요동보상기법을 통해 영상을 형성하는 방법을 컴퓨터 시뮬레이션으로 실현하였다. 거리압축과정, 보상과정, 방위압축과정 및 잡음제거과정 등 요동보상 기법을 단계별로 실행하여 영상데이터를 형성하였다. 거리압축과정은 SAR 생데이터를 주파수영역으로 변환하고 변환된 데이터와 주파수영역의 거리참조함수를 상관시킨 후 결과를 시간영역으로 역변환 시키는 과정이다. 보상과정은 SAR를 탑재한 비행체의 요동을 보상하는 과정과 영상형성 방법상의 화질 저하요인을 제거하는 과정으로 분류하여 수행하였다. 비행체의 요동을 보상하는 과정은 렌지 게이트의 개폐시각을 기준으로 위상각을 보정하는 단계 및 빔내의 각 렌지 게이트에 대한 도플러 주파수를 계산하여 수신 데이터의 지상좌표를 결정하는 단계로 분류하여 수행하였다. 영상형성 방법상의 화질저하 요인을 보상하는 과정은 거리이동 효과 및 뭉뚱화 현상의 보상기준에 따라 보상의 정도 및 보상 유무가 결정되고 필요한 경우에만 보상과정이 수행된다. 방위압축과정은 보상과정이 완료된 데이터를 다시 주파수영역으로 변환하여 방위참조함수와 상관시킨 후 결과를 시간영역으로 역변환 시키는 과정으로 SAR의 영상데이터를 형성한다. 이렇게 형성된 영상데이터는 잡음과 신호가 혼용된 상태이므로 임계값을 적용하여 잡음과 신호를 분리한다.

### Abstract

In this paper, the image formation by the motion compensation technique for Synthetic Aperture Radar system(SAR) were realized through the computer simulation. The motion compensation technique performed image data with the range compression, the compensation procedure, the azimuth compensation and the noise elimination procedure. The range compression procedure transform the SAR raw data into the frequency domain and correlate with the range reference function and then inversely transform into the time domain. The compensation procedure contain the aircraft fluctuations compensation and the radar image degrading effect elimination procedure which was caused by image formation algorithm itself. The aircraft fluctuations compensation procedure perform the first stage which correct the phase angle and the second stage which calculate the Doppler frequency and determine the coordinate of the received signal. The radar image degrading effect elimination procedure also perform range migration compensation and the image defocussing effect compensation. The azimuth compression procedure transform the compensation data to the frequency domain and correlate with the azimuth reference function. The azimuth correlated data are inversely transformed to the time domain which is called SAR image data. When the above procedure were completed, the image data contains the received signals mixed with noise. The threshold technique was applied to elimination the noise from the mixed image data.

**Keywords** : radar, image formation, motion compensation, defocussing effect,

## I. 서 론

현재 Synthetic Aperture Radar(SAR) 시스템의 하드

웨어 발전 및 디지털 처리기법의 발전으로 고해상도 레이다 영상 형상이 일반화 되었으나 방위분해능 방향의 분해능 개선 및 요동보상 방법의 실현은 SAR 및 고해상도 레이다 영상형성의 중요한 과제이다.

\* 정회원, 유한대학교 전자정보과  
(Dept. of Electronic & Engineering, YUHAN College)

\*\* 정회원, 광운대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronic Engineering, KWANGWOON University)

접수일자:2012년10월10일, 수정완료일:2013년2월27일

특히 방위압축과정은 레이다와 목표물간의 거리에 따라 변화하는 응답특성을 가지고 있어 상관참조함수의 결정방법 및 보상방법의 선정이 형성된 영상의 질에 커다란 영향을 미친다. 또한 비행체의 요동으로 인한 거

리변화는 레이더영상의 화질에 치명적인 손상을 주므로 반드시 보상되어야 한다. 본 논문에서는 요동보상 기법을 통한 SAR 영상형성 방법을 연구하였다.

## II. 요동보상기법

본 장에서는 합성개구 레이더의 기본적 구조 및 영상 알고리즘을 이용하여 디지털 기법의 요동보상 방법을 이론적으로 제시하고 결과를 이용하여 자연현상 또는 인위적 조작에 의한 비행체의 운항경로변화 및 비행체의 요동으로 인한 레이더 영상의 저급화를 최소화할 수 있는 3 차원 요동보상 알고리즘을 제시한다.

제시된 알고리즘에서 고려한 요동보상의 범위는 비행체를 중심으로 하는 3 차원 방향으로 비행체 방위방향의 속도변화로 인한 보상, 방위방향과 수직인 방향으로의 경로 및 자체요동을 고려한 보상 및 수직상승 또는 하강방향으로의 경로변화 및 자체요동을 보상하며 이들 3 개의 축을 기준으로 한 3차원의 어떠한 방향으로의 경로변화 및 자체요동도 보상된다.

요동의 보상에는 비행체의 위치를 결정할 수 있는 보조 장치가 필수적이며 이러한 보조장치는 일반적으로 4 종류로 분류된다.<sup>[1, 3~4]</sup>

본 논문의 요동보상 알고리즘에서는 가장 기본적인 INS( Inertial Navigation System)만을 이용한 위치 결정법을 사용한다.

제시된 알고리즘의 기능을 시뮬레이션 하기 위하여 지상의 고립점에 대한 정상응답을 가정하여 3 차원으로 표현한 후 제시된 이론적 과정에 따라 임의의 경로변화 및 비행체 요동을 가정하여 이들을 알고리즘에 따라 보상함으로써 알고리즘의 실용성을 검증한다.

### 1. 좌표계 및 운동방정식

레이더 신호의 time history를 서술하는 첫 번째 단계는 시간에 따라 변화하는 안테나의 위치와 목표물들 간의 상대적 위치를 결정하는 것이다.<sup>[2]</sup>

그림 5-1은 레이더의 영상 좌표계(Image 또는 Map Coordinate로 이우 M/C로 표현)를 나타낸 것으로 X-Z 평면은 요동이 없는 정상운항시의 레이더 궤적을 포함한다. 벡터  $b_{nm}$ 는 M/C의 원점으로부터 레이더 빔 점유면의  $n$ 번째 반영체를 향하는 지면 반영체 벡터(ground reflector vector)로서 안테나의 현재위치를 원점으로 하여 안테나 빔 내의  $n$  번째 반영체를 향하는 반영체 벡터(reflector vector)  $r_{nm}$ 과 지면( $Z=0$  평면)의

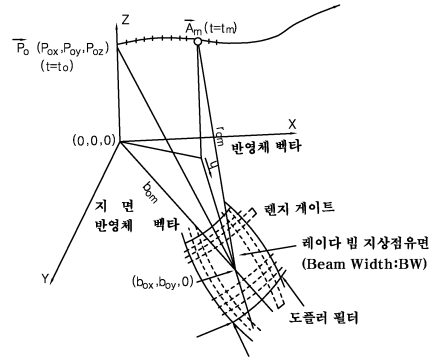


그림 1-1. 요동보상에 사용되는 영상 좌표계  
Fig. 1-1. The imaging coordinate for motion compensation.

교점을 향하는 벡터이다.

그림 1-1 M/C에서 SAR는 지면의 레이더 빔 점유면을 렌지방향의 분해능으로  $K$  등분하여  $K$  개의 렌지 게이트(range gate)를 순차적으로 여담음으로서 신호를 수신한다. (렌지 게이트의 수  $K$ 는 서술의 편리상 짝수 개로 한다.) 또한 각 반영체들은  $S_n$  로 표시하며  $S_{nx}$ ,  $S_{ny}$  및  $S_{nz}$  로 나타내며  $n$ 은  $n$ 번째를 의미하며  $x, y, z$  는 좌표계상의 각 방향 성분을 의미한다.

$S_{nm}$ 는 크기를 나타내고  $S_{np}$ 는 위상을 나타내며 위상의 단위는 radian이다. 각 반영체는 빔의 점유면 내에 존재하고 빔의 점유면은 half-power영역이다. 임의의 시각  $t = t_m$ 에서 하나의 펄스가 방사되며 이때 안테나의 위치 벡터는 M/C상에서  $A_m$ 로 나타내며 식 (1-1)과 같다.<sup>[4, 7]</sup>

$$A_m = \begin{bmatrix} A_{mx} \\ A_{my} \\ A_{mz} \end{bmatrix} = P_0 + \begin{bmatrix} \int_{t_0}^{t_m} \Delta P_{omx} dt \\ \int_{t_0}^{t_m} \Delta P_{omy} dt \\ \int_{t_0}^{t_m} \Delta P_{omz} dt \end{bmatrix} + [B]d_A \quad (1-1)$$

$t = t_m$ 에서 안테나의 속도벡터는 식 (1-1)로부터 식 (1-2)와 같이 M/C상에서 표현된다.

$$V_m = \frac{dA_m}{dt} = \begin{bmatrix} V_{mx} \\ V_{my} \\ V_{mz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_{omx} \\ \Delta P_{omy} \\ \Delta P_{omz} \end{bmatrix} + [B] \cdot [\omega] \cdot d_A \quad (1-2)$$

실제의 동적인 환경에서, SAR는 그림 1-2에서와 같이 방사되는 펄스와 동기화된 INS감지 장비로부터  $t = t_m$ 에서  $\Delta P_{om}$ ,  $V_m$  및 각방향의  $\omega$ 값을 입력하며 요동 보상은 이들 값을 이용하여 안테나의 실제위치벡터  $A_m$  및 실제속도벡터  $V_m$ 을 형성하고 형성된 안테나의 실제 위치

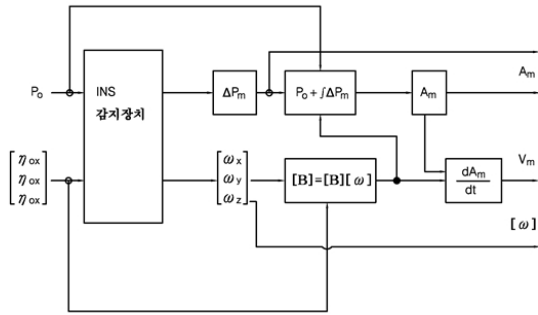


그림 1-2. INS감지기 및 INS처리기  
Fig. 1-2. Inertial Navigation System sensor ana processor.

가 보상하려는 안테나의 이상적인 위치로부터 얼마나 떨어져있는가를 계산하여 보상을 행한다.

M/C상에서 안테나의 실제위치를 식 (1-1)과 같이 나타내고 같은 시각에 이상적인 경로상의 안테나 추정위치벡터 및 추정속도벡터를 각각  $\hat{\mathbf{A}}_m$  및  $\hat{\mathbf{V}}_m$ 라 하면 식 (1-3)과 같은 관계식이 성립한다.

$$\hat{\mathbf{A}}_m = \mathbf{A}_m - \tilde{\mathbf{A}}_m \quad (1-3a)$$

$$\hat{\mathbf{V}}_m = \mathbf{V}_m - \tilde{\mathbf{V}}_m \quad (1-3b)$$

식 (1-3)에서  $\hat{\mathbf{A}}_m$  및  $\hat{\mathbf{V}}_m$ 은 INS의 출력을 이용하여 계산된 실제의 안테나 위치 벡터 및 속도 벡터와 같은 시각에 이상 경로 상에 존재하는 것으로 간주된 양들 간의 차이를 나타낸 보상량이다.<sup>[5-6]</sup>

## 2. 제 1 단계 요동보상

제 1 단계의 요동보상 과정은 앞에서 형성된 운동방정식 및 좌표계를 기본으로 하여 BW를 렌지 게이트수에 비례하도록 분리한 다음 분리된 영역을 반영체라 하고 각각의 반영체들은 비행체로부터 동일한 거리상에 존재하는 렌지 셀들로 구성된 것으로 보며 또한 이들 렌지 셀들은 다수의 산란체들로 구성된 것으로 한다. 이러한 가정 하에서 K개의 연속한 렌지 셀들에 대응하는 각 렌지 게이트의 개폐시각을 중심 렌지 셀의 원거리 경계를 기준으로 결정한 후 각 렌지 셀의 도플러 주파수 천이를 결정하기 위하여 위상각 보정량을 결정한다.

### 가. 렌지게이트 개폐시각

요동보상의 제 1 단계 작업은 렌지 게이트 개폐 시각을 결정하는 것이다.<sup>[8]</sup>

k번째 렌지게이트의 개방 및 폐쇄시각은 BW 중심 좌표에 대한 폐쇄 시각을 기준으로 상대적으로 결정된다. 안테나의 실제위치벡터  $\mathbf{A}_m$ 를 X-Y 평면에 투영하여 X-Y 평면과 만나는 점으로부터 BW의 중심좌표를 향하는 단위벡터를  $\mu$ 라 하면 단위 벡터  $\mu$ 는 식 (2-1)와 같다.

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_x \\ \mu_y \\ \mu_z \end{bmatrix} = \frac{1}{|\hat{\mathbf{b}}_{om} - \mathbf{A}_{mg}|} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{b}}_{omx} - \mathbf{A}_{mgx} \\ \hat{\mathbf{b}}_{omy} - \mathbf{A}_{mgy} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

$$|\hat{\mathbf{b}}_{om} - \mathbf{A}_{mg}| = \sqrt{(\hat{\mathbf{b}}_{omx} - \mathbf{A}_{mgx})^2 + (\hat{\mathbf{b}}_{omy} - \mathbf{A}_{mgy})^2}$$

식 (2-1)에서  $\mathbf{A}_{mg}$ 는 안테나의 실제 위치벡터  $\mathbf{A}_m$ 을 X-Y 평면에 투영하여 형성된 벡터이고  $\mathbf{A}_{mgx}$ 는 X축 방향성분으로  $\mathbf{A}_{mx}$ 와 같으며  $\mathbf{A}_{mgy}$ 는 Y 축 방향성분으로  $\mathbf{A}_{my}$ 와 같다.  $\mu$ 방향의 렌지게이트 증분값을 s라 하면 k번째 렌지게이트와 중심 렌지게이트인 K/2번째 렌지게이트간의 간격은  $(k - K/2) \cdot s$ 이므로 k번째 렌지게이트의 폐쇄 시각은 식 (2-2)과 같다.

$$\mathbf{t}_{(k)} = \mathbf{t}_m + 2 \cdot |\hat{\mathbf{r}}_{km}|/c$$

$$\hat{\mathbf{r}}_{km} = \hat{\mathbf{A}}_m - \hat{\mathbf{b}}_{km} \quad (2-2)$$

$$\hat{\mathbf{b}}_{km} = \hat{\mathbf{b}}_{om} + (k - \frac{K}{2})s\mu$$

식 (2-2)에서  $\hat{\mathbf{r}}_{km}$ 는 시각의 안테나 위치로부터 k번째 반영체내  $\mu$ 방향의 렌지 셀까지의 거리를 나타내는 벡터이다.

식 (2-2)으로 부터 각 반영체에 대응하는 렌지게이트들의 개폐시각이 이상적인 경로를 따라 형성된 BW 내의 K/2번째 반영체에 대한 렌지게이트의 폐쇄 시각을 기준으로 결정되었으므로 렌지방향의 모든 반영체에 대한 렌지게이트의 개폐시각은 비행체의 요동 및 경로변화에 관계없이 일정하다. 비행체의 경로변화(translational motion) 및 비행체의 요동(rotational motion)으로 인하여 BW의 방향이 그림 2-1와 같이 변화한다할지라도 이상적인 보상 경로를 따라 형성된 BW의 K/2번째 반영체를 반드시 통과하도록 설정된 벡터  $\mu$ 방향으로 반영체들이 순차적으로 배열되므로 역시 K/2번째 반영체에 대한 폐쇄 시각을 기준으로 다른 반영체들에 대응하는 렌지 게이트의 수신 시각을 결정할 수 있다. 그림 2-1(b)는 그림 2-1(a)에 나타난 각 반영체들이 K/2번째 반영체의 렌지게이트 폐쇄 시각을 기준으로 고정된 렌지게이트 개폐 시각에 수신되는 것을

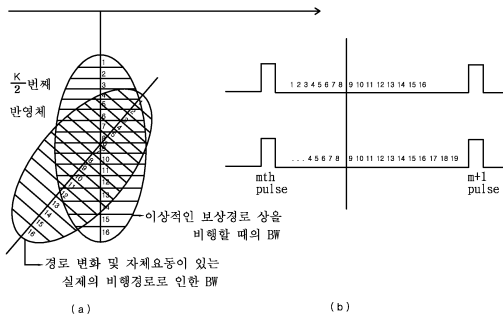


그림 2-1. 이상경로 및 실제경로 에서의 BW 와 반사신호.

Fig. 2-1. The beamwidth and the returned echo for both the ideal path and the actual path.

나타낸 것이다.<sup>[9]</sup>

나. 위상각 보정(Phase angle Correction)

요동 보상의 제 1 단계는 모든 렌지게이트에 대한 개폐시각을 결정한 후 각각의 게이트에 대하여 위상각 보정 (phase angle correction)을 한다.

$$\exp[-j4\pi\mathbf{r}_{km}/\lambda] \tag{2-3}$$

식 (2-3)의 레이더 응답은 경로변화 및 요동이 존재하는 실제의 비행경로상의 안테나 위치로부터 형성된 레이더 응답으로 이상적인 보상경로를 비행하는 경우의 레이더 응답 식(2-4)를 곱함으로써 위상 보정량을 결정한다.

$$\exp[+j4\pi\hat{\mathbf{r}}_{km}/\lambda] \tag{2-4}$$

3. 제 2단계 요동보상

식 (2-5)에서  $v_{mk}$ 는 m번째 방사된 펄스에 의한 k번째 렌지게이트 응답으로 제 1 단계의 보상이 완료된 응답이다.

$$v_{mk} = \sum \sigma_n G_n [\exp\{-j4\pi(\mathbf{r}_{km} - \hat{\mathbf{r}}_{km})/\lambda\}] * \mathbf{F}(\mathbf{r}_{km}) \tag{2-5}$$

제 2 단계의 요동보상 과정을 자세히 기술하면 다음과 같다.

① 제 1 단계 요동보상의 결과 형성된 데이터 행렬  $v$ 로부터 동일한 렌지 게이트로 형성된 궤적을 선택한다. 즉 행렬  $v$ 로부터  $k$ 를 일정하게 두고  $m$ 을 빔 폭만큼 순차적으로 증가시키면서 열벡터  $v_{mk}$ 를 형성하여 FFT

알고리즘에 입력하여 주파수 영역으로 변환한다.

② 안테나의 위치 및 속도 벡터의 방향 성분 값을 구한다. 이때 안테나의 위치는 INS로부터 제시된 실제 비행경로상의 위치이며 속도 벡터의 각 성분  $A_m$  및  $V_m$ 을 구한다.

③ 각 렌지게이트의 중심과 안테나 사이의 도플러 주파수가 식(2-6)과 같이 계산된다.

$$fV_{(k)} = \frac{2}{\lambda} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{mx} \\ \mathbf{V}_{my} \\ \mathbf{V}_{mz} \end{bmatrix} \frac{\hat{\mathbf{r}}_{km}}{|\mathbf{r}_{km}|} \tag{2-6}$$

④ k번째 게이트내의 각 반영체에 대한 전체 도플러 주파수  $F_{v(k,l)}$ 을 계산한다.(식 (2-7)사용)

$$FV_{(k,l)} = fV_{(k)} + f_1 \tag{2-7}$$

식 (2-7)의  $f_1$  은 푸리에 변환함으로서 얻어지는 렌지 게이트 중심에 대한 상대 주파수 이다.(①의 과정으로 얻어진다.)

⑤ 관측된 거리 및 ④항의  $F_{v(k,l)}$ 를 이용하여 식 (2-8)와 식 (2-9)의 연립방정식의 해를 구한다.

$$(\mathbf{X}_p - \mathbf{A}_{mx})^2 + (\mathbf{Y}_p - \mathbf{A}_{my})^2 + \mathbf{A}_{mz}^2 = |\mathbf{r}_{km}|^2 \tag{2-8}$$

$$\frac{1}{|\mathbf{r}_{km}|} [(\mathbf{X}_p - \mathbf{A}_{mx})\mathbf{V}_{mx} + (\mathbf{Y}_p - \mathbf{A}_{my})\mathbf{V}_{my} + \mathbf{A}_{mz}\mathbf{V}_{mz}] = \lambda F_{v(k,l)}/2 \tag{2-9}$$

식 (2-8) 와 식 (2-9)의 연립방정식 해는 각 반영체의 중심셀에 대한 위치벡터로 식 (2-10)으로 주어지는 거리차를 구하는데 사용한다.

$$\delta_{k1} = |\hat{\mathbf{A}}_m - \mathbf{R}_p| \tag{2-10}$$

식 (5-26)에서  $\mathbf{R}_p$ 는 식 (2-8)와 식 (2-10)의 연립방정식으로 구하여진 반영체 중심셀의 좌표 ( $X_p, Y_p, 0$ )이며 식 (2-10)은 제 2 단계 요동 보상의 기본이 된다.

⑥ 각각의 스펙트럼 성분을 재배치된 렌지게이트 및 정정된 위상으로 천이시키기 위하여는 식 (2-10)에 주어진 거리차를 이용한다.

지금까지의 고찰로부터 비행체의 요동으로 인한 거리변화 및 도플러 주파수의 변화를 살펴보았다. 거리변화가 방위방향의 레이더 영상 화소에 미치는 영향을 최소화 하는 것이 요동보상의 기본 원칙이며 이러한 원칙

에 입각하여 본장에서는 이상적인 비행체의 운항시에 형성된 중심 렌지 게이트의 폐쇄시각을 기준으로 거리 방향의 보상을 하였고 이렇게 형성된 데이터를 2차원의 배열로 취급하여 방위의 time history로부터 도플러 주파수의 변화를 감지하여 ①-⑥의 과정을 통하여 방위의 보상이 가능하다는 것을 제시 하였다.

### III. 실험

#### 1. 영상형성에 사용된 데이터의 특성

본 실험에서 SAR 영상 형성에 사용된 생데이터(row data)는 128 x 64의 데이터로 VFRC(Vally Forg Research Center)에서 제공된 것으로 ISAR에 의하여 형성된 수신 데이터이다. SAR와 ISAR의 기하학적 구조가 서로 역관계를 형성할 뿐 동일한 신호처리 기법 및 신호형성구조를 가지므로 SAR 용 생데이터로도 적합하다고 판단되어 사용하였으며 시뮬레이션 결과 제시된 원래의 데이터가 함유하고 있던 물체를 감지할 수

표 3-1. 실험에 사용된 데이터의 특성  
Table 3-1. Characteristics of the data used in the experiments.

안테나 규격	$R_a = 1.2\text{m}$ 인 Dish 안테나 $L_a = W_a = 1.2\text{m}$
레이더 빔의 수평 수직 폭	$\Theta_v = \Theta_H = \lambda/R_a = 0.025$ radian $= 1.5^\circ$
비행체 속도	$V_{st} = 121.59\text{m/s}$
안테나와 목표물의 최소거리	$R_o = 2494.25\text{m}$
빔의 관측각	$r = 40^\circ, \eta = 38.75^\circ$
방위관측 거리	$X = R_o\Theta_H = 62.35\text{m}$
방위관측 기간	$S = X/V_{st} = 0.51\text{s}$
거리방향 지상점유 길이	$W_g = \lambda R_o / (W_a \cos \eta) = 81\text{m}$
전송신호 중심 주파수	$f_c = 9.6$ GHz ( $\lambda = 0.03\text{m}$ )
전송신호 펄스 유지기간	$\tau_p = 7\text{ns}$
전송신호 반복 주기	$T_p = 200\mu\text{s}$ ( $f_p = 5\text{kHz}$ )
전송신호 주파수 대역	$B = 250$ MHz
전송신호 주파수 변조율	$K = B/\tau_p = 0.57$
수신신호 표본 취득 주파수	sampling frequency = 200MHz
수신신호 펄스 유지기간	$\tau_R = 5\text{ns}$
송수신간의 압축율	$\tau_R/\tau_p = 0.71$
생데이터가 포함하고 있는 목표물은 Lockheed L-1011 수송기.	

있었다. 또한 128 X 64의 생데이터는 하드웨어적으로 거리압축과정이 선행된 데이터이므로 본 실험에서는 방위압축과정만으로 레이더 영상을 형성할 수 있었다. 일반적으로 SAR 생데이터라 함은 거리압축과정이 선행된 데이터를 말하는데 그러한 이유는 거리참조함수가 거리 및 방위에 관계없이 일정한 반면 방위참조함수는 거리에 따라 변화하므로 하드웨어적 처리가 어렵기 때문이다.

VFRC에서 제공된 데이터의 특성을 살펴보면 표 3-1과 같다.

#### 2. 임펄스 응답

식 (3-1)을 수신단 입력신호에 곱하여 하나의 목표물에 대한 방위관측범위를 제한할 때 완전한 수신입력 신호가 결정된다. 식 (3-1)은 하나의 목표물로부터 반사된 신호를 관측 할 수 있는 방위의 범위를 결정하는 일반식이며 식 (3-2)은 신호가 전송된 경우의 완전한 수신단 입력 신호이다.

$$\text{rect}\left[\frac{t-S}{S}\right] = 1, \left|\frac{t-S}{S}\right| < \frac{1}{2}$$

$$= 0, \left|\frac{t-T}{T}\right| > \frac{1}{2}$$
(3-1)

$$\hat{v}_r(t) = \text{rect}\left[\frac{t-\tau}{\tau_p}\right] \text{rect}\left[\frac{t-S}{S}\right] \cdot \exp\left\{-j4\pi\left[\frac{(V_{st}t-x_o)^2}{2\lambda R} - K\frac{(t-\tau)^2}{4} + \frac{R}{\lambda}\right]\right\}$$
(3-2)

표 6-1에 주어진 시뮬레이션 데이터의 특성을 식 (3-2)에 적용하며 식(3-3)과 같은 수신 응답을 형성한다.

$$\hat{v}_r(t) = \text{rect}\left[\frac{t-\tau}{7 \cdot 10^{-9}}\right] \text{rect}\left[\frac{t-0.51}{0.51}\right] \cdot \exp\left\{-j4\pi\left[\frac{(121t-x_o)^2}{149.66} - 0.57\frac{(t-\tau)^2}{4} + 83141.67\right]\right\}$$
(3-3)

식 (3-2) 및 식 (3-3)로부터 하나의 목표물에 대한 기저대역 수신응답은 두개의 제곱 항으로 된 위상 및 거리지연을 가진다는 것을 알 수 있다.<sup>[6, 9]</sup>

#### 3. 데이터의 수집범위

그림 6-4는 항공기 탑재용 SAR의 데이터 수집범위

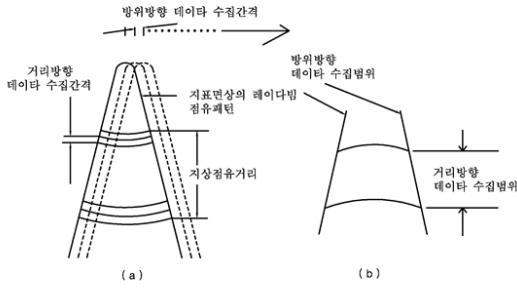


그림 3-1. 방위방향 및 거리방향 데이터 수집 간격  
Fig. 3-1. The data collection interval for azimuth and range direction.

를 나타낸 것으로 항공기에 탑재된 레이더는 관측할 영역의 측면 상공을 비행하면서 거리의 응답이 불명확하지 않을 정도의 충분한 시간 간격으로 펄스를 방사한다.

방사된 펄스는 그림 3-1(a)에서와 같이 매번 방사된 펄스의 빔이 관측영역의 다른 지역을 조금씩 이동하면서 조사하게 된다. 이때 레이더는 펄스를 방사한 후 수신모드로 들어가게 되고, 수신모드에서는 반사된 수신신호를 특정 시간간격 (sampling space) 으로 신호를 취하거나 연속하여 기록하게 된다. 이때 빔이 점유하는 지상면의 수신가능 범위를 지상점유거리라 한다.

하나의 고립점으로부터 반사된 수신신호는 거리 및 방위로 확산되어 그림 3-1(b)와 같은 형태로 기록된다. 이러한 데이터는 거리압축과정 및 방위압축과정을 통하여 레이더 영상을 형성할 수 있다.

4. 디지털 처리방법

철펄스 SAR 시스템의 경우 수신된 응답의 데이터 집합상에서 경사거리방향의 펄스압축과정 및 방위압축과정을 거쳐 하나의 응답을 형성한다. 디지털 처리과정은 광 처리에서와 유사한 방법으로 2 차원 데이터를 정합필터의 임펄스 응답과 컨벌루션함으로 광 처리에서 사용했던 렌즈의 역할을 대신하게 하여 처리하는 방법이다.

디지털 처리의 개념을 그림 4-1에 나타내었다. 그림 4-1 에서 2 개의 분리된 고립점에 대한 수신 데이터 집합을 그림 4-1(a)에 나타내었으며 거리압축과정의 결과를 그림 4-1(b)에 나타내었다. 2 차원 참조함수와 2 차원 상관과정을 양방향 압축 완료된 상태의 레이더 영상화소를 그림 4-1(c)에 나타내었다.

거리 데이터들이 먼저 거리참조함수와 상관과정을 거쳐 압축되고, 거리방향으로 압축된 데이터들은 방위

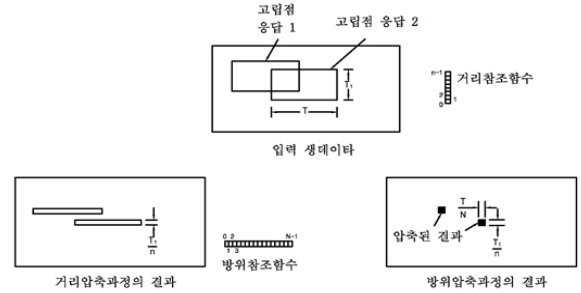


그림 4-1. 두 개의 고립점 (A, B)을 포함하는 데이터 집합의 압축처리과정  
Fig. 4-1. The compression procedure of SAR input data containing two point targets.

참조함수와 상관을 거쳐 레이더영상의 한 점을 형성한다. 그림 4-1은 이상적인 압축과정을 개념적으로 처리한 경우로 2 차원 처리과정을 각각 연속한 두 개의 1 차원 처리과정을 거쳐 처리한 것이다. 이 경우 시불변적인 거리참조함수가 전체 데이터 집합의 거리압축과정에 적용되었으며, 역시 시불변인 방위참조함수가 데이터 집합의 각 줄에 적용되었다.

5. 고속처리 알고리즘 및 결과

디지털 데이터의 고속 컨벌루션이 쉼 신호에 대한 정합필터의 임펄스응답으로 행하여지는 반면, 고속 상관

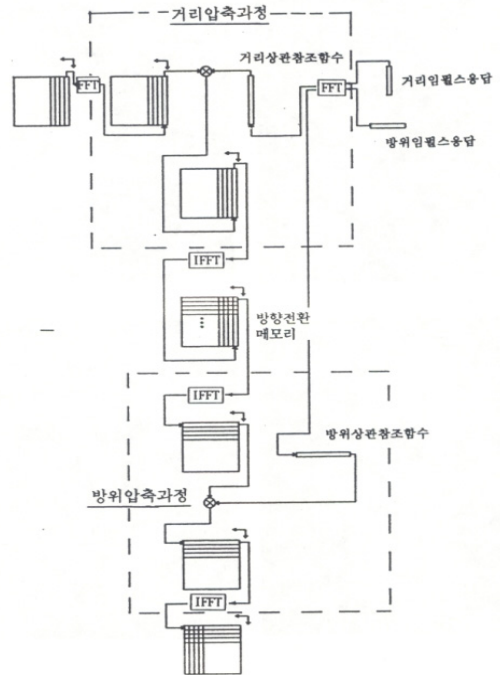


그림 5-1. 2 단계의 고속상관 영상형성 기법의 흐름도  
Fig. 5-1. The flow chart of the two stage fast correlation for SAR data image formation.

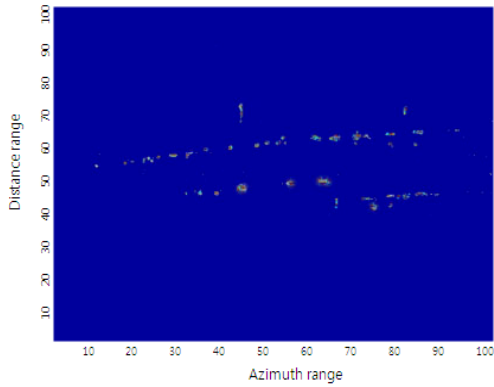


그림 5-2. 입력으로 사용된 영상신호  
Fig. 5-2. The image signal used to input.

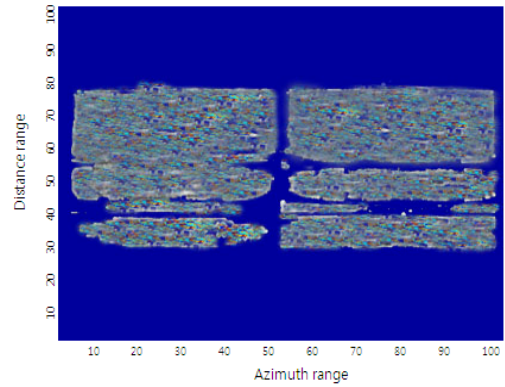


그림 5-5. 거리압축과정을 거친 데이터와 방위참조함수 간의 주파수 영역 상관 과정 후의 영상신호  
Fig. 5-5. The image signal after correlate with azimuth reference function.

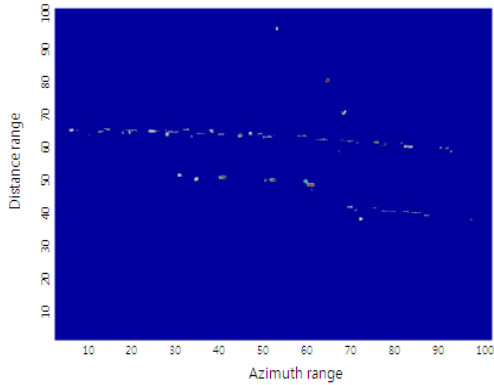


그림 5-3. 거리이동효과를 보정한 영상신호  
Fig. 5-3. The image signal after range migration compensation.

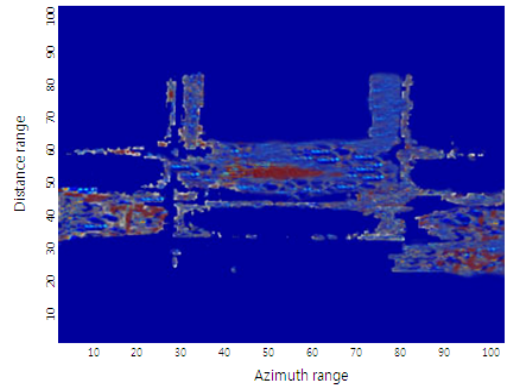


그림 5-6. 그림 5-5의 영상신호를 시간영역으로 역변환한 영상신호  
Fig. 5-6. The image signal after inversely transformed to time domain.

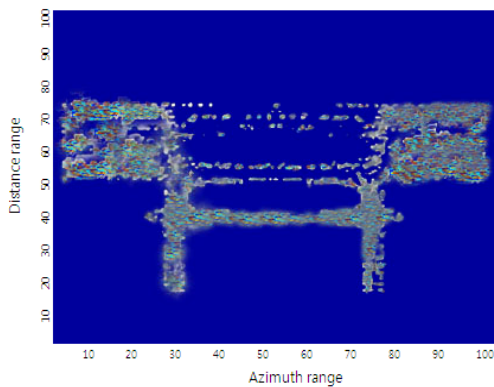


그림 5-4. FFT를 수행하여 주파수영역으로 표현된 영상신호  
Fig. 5-4. The image signal after FFT.

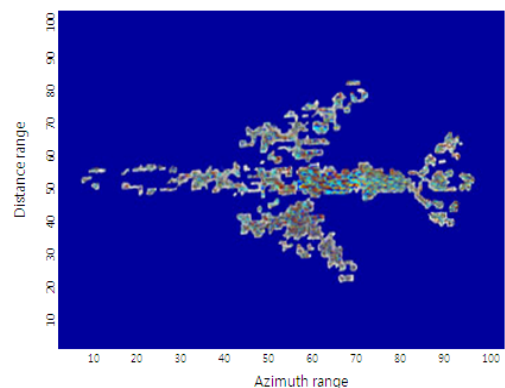


그림 5-7. 신호와 잡음을 분리하는 임계값을 적용하여 목표물을 추출한 영상신호  
Fig. 5-7. The image signal after correlate with threshold.

과정은 특정 거리에 있는 고립점 응답의 복소공역의 시간 역함수를 참조함수로 하여 행하여진다.<sup>[10]</sup>

SAR의 데이터 집합이 2 차이므로 고속 상관 과정은 2 단계의 1 차원 고속 상관과정을 통하여 압축된다. 이러한 상관과정은 FFT 알고리즘을 사용하여 형성된

다. 식 (3-42)의 영상 형성식은 수신 신호와 시스템 역 그린함수와 컨벌루션으로 복소영상이 형성된다는 것을

나타내었으며 그림 5-1의 흐름도를 따라 수행된다.

그림 5-2는 레이더 영상의 고속처리를 위한 입력으로 사용되었다. 그림 5-3은 거리이동효과 보정을 수행한 후의 그림을 나타낸 것이다. 그림 5-4는 그림 5-3의 결과를 FFT를 이용하여 주파수 영역으로 표현한 것이며 그림 5-5는 방위차조함수와 거리압축과정을 거친 데이터간의 주파수 영역 상관과정후의 결과이며 그림 5-6은 그림 5-5의 결과를 시간 영역으로 역변환 한 것으로 수신된 레이더 신호영상 데이터이다. 그림 5-6의 결과는 최종적으로 신호와 잡음을 분리하는 임계값을 적용하여 그림 5-7과 같이 목표물이 추출된다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 SAR의 기본구조 및 신호처리 방법을 고찰하였고 고찰의 결과 선형 주파수 변조신호를 이용한 합성 개구 레이더 시스템의 영상화과정을 제안하고 알고리즘의 수행결과를 거리이동이 있는 경우와 없는 경우로 비교하여 제시 하였다.

사용된 생데이터는 본래는 ISAR의 생데이터 이나 ISAR의 특정상 기하구조를 역과정으로 고려할 경우 SAR의 생데이터로 취급할 수 있다.

레이더를 탑재한 비행체의 속도가 121m/s이고 비행체로부터 관찰영역의 첫 번째 목표물까지의 거리가 2492.5m이며 펄스방사주기가 2 $\mu$ s이며 펄스유지기간이 7ns이고, 안테나의 구경이 1.2m인 생데이터로 가정하여 처리한 결과 거리이동이 보상된 영상은 양호 하였으나 보상을 하지 않은 경우에는 형태를 알아볼 수 없을 정도였다.

요동보상의 기법을 이용한 시뮬레이션은 INS장비에 의한 비행체의 실제적 위치 및 속도 자료의 부족으로 영상 형성에 사용된 생데이터를 이용한 시뮬레이션이 불가능 하였으므로 가정된 고립점의 수신데이터를 이용하여 시뮬레이션 하였다. X, Y 및 Z 방향으로 비행체가 이동한 경우 가정된 3 차원의 수신데이터는 신호 크기의 변화 및 좌표점의 이동효과를 발생 시켰다. 비행체의 속도 및 가속도의 변화가 있는 경우 수신된 데이터는 전혀 형태를 예측할 수 없을 만큼 일그러졌다. 이러한 원인은 비행체의 속도 및 가속도의 변화가 주파수를 변화시켜 뭉뚱화 현상을 유발하였기 때문이다.

SAR 시스템의 수신신호로부터 영상을 형성하는 과정은 여러 가지 방법이 있으나 본 논문에서는 측면관측 방법을 이용하였고 전송신호의 변조방법은 선형주

파수 변조신호를 이용하였다. 또한 처리과정에서는 수행속도의 개선을 위하여 고속 푸리에 변환 기법을 사용하였다.

SAR의 영상 형성방법 및 신호의 변조방법에 대한 개선은 방위분해능에 영향을 미치며 전송펄스의 유지시간 및 펄스의 반복주기는 거리분해능 및 거리 관측범위와 관계가 있으나 안테나의 규격 및 펄스 레이더라는 점과 레이더의 감지능력 및 분해능과의 마찰 등으로 복합적인 고려가 필요하다.

현재의 고해상도 레이더가 가지는 최대의 단점은 비행체의 요동 및 회전으로 인한 분해능의 저하에 있으므로 앞으로 보다 체계적이고 향상된 능력의 요동보상기법이 제시되어 현재의 SAR 시스템이 가지는 최대의 분해능을 이루도록 하여야 한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Mims, J.H. and Farrel, J.L., "Synthetic Aperture Imaging with Maneuvers", IEEE Trans, on Aerospace and Electronic Systems, Vol.AES-8, No.4, pp.410-418, July, 1972.
- [2] 한수용, 최성진, 나극환, "AM 기법을 이용한 TM 마스크의 형성 및 SAR 영상의 경계검출 알고리즘." 전자공학회논문집, 제29권, B편, 제4호, pp. 270-281, 1992년 4월.
- [3] Farrel, J.L.Mims, J.H. and Sorrel, A., "Effect of Navigation Errors in Maneuvering SAR," IEEE Trans, on Aerospace and Electronic Systems, Vol.AES-9, No.5, pp. 758-776, September 1973.
- [4] Kirk, John C. Jr., "Motion Compensation for Synthetic Aperture Radar," IEEE Trans, on Aerospace and Electronic Systems, Vol.AES-11, No.3, pp. 338-348, May 1975.
- [5] Curlander, J. C. and McDonough, R.N., "Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing", New York: John Wiley & Sons, 1991.
- [6] Ivanov, A.V., "On the Synthetic Aperture Radar Imaging of Ocean Surface Waves," Journal of Oceanic Engineering, Vol. OE-7, No 2, pp. 96-107, April 1982.
- [7] 라정웅 외 "SAR 장치 개발에 관한 연구(I)," 한국과학기술원, 1987.
- [8] 임병균, 우재춘, 김영수 "Range Migration Algorithm 을 이용한 근전계 SAR 영상 획득" 대한전자공학회 하계종합학술대회 page(s): 58-59, 2009.
- [9] 신희섭, 전재한, 임종태 "하나의 경로를 가진 항공



기 탑재형 Bistatic Spotlight SAR 영상형성을 위한 Range Migration Algorithm의 확장” 대한전자공학회, 하계종합학술대회, page(s): 165-166, 2008. 6.

- [10] 정홍, 권준범, 박정호 “SAR 신호처리를 위한 고속 Correlator 시스템 구현” 대한전자공학회 학술대회 논문집 (신호처리합동) 제11권 1호, page(s): 555-558, 1998. 1.

— 저 자 소 개 —



강 은 균(정회원)  
1994년 호서대학교 제어계측 공학과 졸업(공학사).  
1998년 광운대학교 전자공학과 졸업(공학석사).  
2011년 9월~현재 유한대학교 전자정보과 강의전담 교수

<주관심분야 : 반도체, 초고주파, 신호처리>



나 극 환(정회원)  
1981년 7월 프랑스ENSEEIH  
국립종합과학대학 (공학박사)  
1981년 9월~1986년12월 광운대학교 전자공학과부교수  
1987년 1월~1988년 1월 미국 COS-MST연구소객원 연구원

1988년2월~현재: 광운대학교 전자공학과 교수  
<주관심분야 : 초고주파, 통신, 신호처리>