

SAR 영상의 Azimuth 차분을 이용한 움직이는 물체의 속도측정방법

박정원 · 정형섭 · 원중선[†]

연세대학교 지구시스템과학과

Velocity Estimation of Moving Targets by Azimuth Differentials of SAR Images

Jeong-Won Park, Hyung-Sup Jung, and Joong-Sun Won[†]

Department of Earth System Sciences, Yonsei University

Abstract : We present an efficient and robust technique to estimate the velocity of moving targets from a single SAR image. In SAR images, azimuth image shift is a well known phenomenon, which is observed in moving targets having slant-range velocity. Most methods estimated the velocity of moving targets from the distance difference between the road and moving targets or between ship and the ship wake. However, the methods could not be always applied to moving targets because it is difficult to find the road and the ship wake. We propose a method for estimating the velocity of moving targets from azimuth differentials of range-compressed image. This method is based on a phenomenon that Doppler center frequency shift of moving target causes a phase difference in azimuth differential values. The phase difference is linearly distorted by Doppler rate due to the geometry of SAR image. The linear distortion is eliminated from phase removal procedure, and then the constant phase difference is estimated. Finally, range velocity estimates for moving targets are retrieved from the constant phase difference. This technique was tested using an ENVISAT ASAR image in which several unknown ships are presented. In the case of a isolated target, the result was nearly coincident with the result from conventional method. However, in the case of a target which is located near non-target material, the difference of the result between from our algorithm and from conventional method was more than 1m/s.

Key Words : Synthetic Aperture Radar, Moving target, Velocity estimation, Ship wake, Azimuth image shift.

요약 : SAR에서 마이크로파의 진행방향으로의 속도성분을 가지고 움직이는 물체는 영상에서 azimuth 방향으로 이동된 위치에 상이 맺힌다는 현상은 이미 잘 알려져 있다. 대부분의 속도측정 알고리즘들은 실제 물체의 위치와 상이 맺힌 위치 사이의 거리를 측정함으로써 속도를 유추하였다. 그러나 움직이는 물체의 실제의 위치를 나타내는 지시자인 도로나 배의 물결모양은 일반적으로 SAR 영상에서의 식별도가 높지 않기 때문에 이러한 방법은 영상취득시의 조건이나 물체의 움직임 정도에 따라 적용이 제한적이다. 이에 본 연구에서는 SAR 원시자료 처리단계의 중간 산물인 range-compressed 영상의 azimuth 차분신호로부터 물체의 속도를 측정하는 새로운 방법을 제안한다. 이 방법은 움직이는 물체에 의한 도플러 중심주파수의 변이가

azimuth 차분신호에서의 위상변화를 일으킨다는 점에 기초한다. 일반적으로 SAR에서 감지하는 지표물의 위상은 SAR의 기하에 의하여 발생하는 도플러 변화율에 따라서 선형적으로 변한다. 이 선형변화위상과 몇 가지 상수 값을 갖는 위상들을 제거하고 남은 신호는 물체의 움직임과 직접적인 관련이 있으므로, 이로부터 속도를 구해낼 수 있다. 이 방법을 실제 ENVISAT ASAR영상을 이용하여 배의 속도를 구하는 데에 적용해 보았으며, 그 결과는 목표물의 위치에 따라 다른 양상을 보였다. 해상에 단독적으로 존재하는 배에 적용하였을 때는 0.1m/s 정도의 차이로 기존의 속도측정 알고리즘의 결과와 잘 일치하였으나, 육지에 인접한 연안의 배는 신호의 교란에 의해서 1m/s 이상의 오차를 보였다.

1. 서론

20세기 말에서 현재에 이르기까지 많은 민간용 위성 SAR 시스템들이 발사되었고 또 성공적으로 운용 중에 있다. 그 예로는 유럽연합의 ERS-1(1991)을 필두로 일본의 JERS-1(1992), 유럽연합의 ERS-2(1995), 캐나다의 RADARSAT-1(1995), 유럽연합의 ENVISAT(2002), 일본의 ALOS(2006), 이탈리아의 COSMO-SkyMed(2007), 독일의 TerraSAR-X(2007) 등이 있다. 또한 우리나라에서도 X-밴드 SAR 시스템인 KOMPSAT-5를 준비 중에 있다.

SAR의 응용분야 중 하나로서 현재 움직이는 물체의 감지와 속도측정에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. SAR 영상을 이용한 움직이는 물체의 위치추정과 속도측정 기술은 교통체증에 대한 감시(Gintautas *et al.*, 2005)나 해상에서의 배의 추적(Chong *et al.*, 2002) 등에 활용되고 있다. 특히 해상에서의 움직이는 배의 추적은 해상방위나 교통감시에 있어서 필수적인 요소이다. ATI-SAR(Along Track Interferometric-SAR)는 해상에서의 움직임을 감지하는 데에 있어서 유리한 기술이다. 최근에는 ATI-SAR기술을 이용하여 지상에서 움직이는 물체를 찾아내는 Ground Moving Target Indication(GMTI)기술을 위성체 SAR 시스템에 적용하려는 시도가 있었다(Curtis *et al.*, 2004). ATI-SAR는 짧은 시간간격을 가지고 얻어지는 두 신호의 기하적 차이로 인해 발생하는 위상차이를 이용하는 시스템이다. 이를 위해서 일반적으로는 하나의 기체에 두 개의 안테나를 탑재한 ping-pong 모드를 사용한다. 이러한 시스템은 주로 비행기 SAR에만 존재하고 위성체에 탑재된 경우로는 최근 발사된 TerraSAR-X가 있다. 그러나 TerraSAR-X 자료 중 ATI 모드의 자료는 군사용 목적을 지니고 있어 민간에 제공되지 않을 계획

이다. 이와 같은 이유로 현존하는 위성체 SAR 시스템을 이용하여 하나의 안테나로 ATI-SAR를 구현하려는 연구가 진행되어왔다(Jose and Paulo, 2003).

SAR 영상에서 물체의 움직임에 의한 이동된 상의 위치와 그 물체의 원래 위치와의 관계는 이미 잘 알려져 있기 때문에(Wahl *et al.*, 1993; Eldhuset, 1996) 종래의 속도측정 알고리즘들은 대부분 이 관계를 이용하여 속도를 측정하여 왔다. 물체의 원래 위치와 이동된 상이 맺힌 위치 사이의 거리는 도플러 주파수 변이량에 의해 결정된다. 이와 같은 현상을 이용하여 위치 이동량으로부터 물체의 이동속도에 해당하는 도플러 주파수 변이량을 구하는 방법을 사용한다. 그러나 이러한 관계를 이용하기 위해서는 우선 물체의 원래 위치를 알아내야 하는데 일반적으로 물체의 원위치를 구하는 것은 어렵다.

움직이는 배는 수면을 가르면서 특유의 물결을 발생시킨다. 배의 움직임에 의한 물결무늬는 SAR영상에서 주변보다 밝거나 어두운 선형의 모습으로 나타나게 된다. 그러나 SAR영상에서는 자연발생적인 선형의 해류 또한 감지될 수 있기 때문에 배의 움직임에 의한 물결무늬는 배가 보이는 위치로부터 azimuth방향으로 근처에 보이는 상으로 간주한다. 이 물결무늬를 보다 명확히 찾기 위한 대표적인 영상처리방법으로는 Radon변환이 있다(Rees, 1990; Lin and Khoo, 2003).

배의 물결무늬를 이용한 속도측정 방법을 적용하기 위해서는 극복해야 할 몇 가지 문제들이 있다. SAR 영상에서 물결무늬의 존재가 중요하다. 이는 기본적으로 배의 종류와 크기, 이동속도에 따라 달라지지만, 그 외에도 중심주파수와 편파, 기상상태 등의 외부조건에 의해서도 많은 영향을 받는다. 무엇보다도 배의 물결무늬가 생성되는 조건 또한 명확히 밝혀지지 않았다.

본 연구에서는 물결무늬와 같은 물체의 움직임 지시자를 이용하지 않고서도 레이더 신호의 차분값을 이용

하여 물체의 속도를 측정할 수 있는 새로운 방법을 제안한다. 이 연구의 목적은 하나의 안테나를 탑재한 위성체 SAR 시스템을 이용하여 움직이는 물체의 속도를 측정하는 것이다. SAR 원시자료 처리단계의 중간 산물인 range-compressed 영상은 목표물의 azimuth 영상시간에 따른 위상변화정보를 가지고 있다. 일반적으로 SAR에서 감지하는 지표물의 위상은 SAR의 기하에 의하여 발생하는 도플러 변화율에 따라서 시간에 따른 선형변화를 보인다. 이 선형변화위상과 몇 가지 상수 값을 갖는 위상들을 제거하고 남은 신호는 물체의 움직임과 직접적인 관련이 있으므로, 이로부터 속도를 구해낼 수 있다. 이 방법을 이용하여 ENVISAT ASAR영상에 존재하는 항해중인 배의 속도를 추출하였고, 각 대상에 따라 얻을 수 있는 정밀도에 대하여 실험하였다.

2. 이론

1) 위치 이동량을 이용한 속도측정법

도플러 주파수 변이에 의한 물체의 상의 위치 이동량은 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta = Rv/V \quad (1)$$

R 은 물체와 SAR센서간의 거리이고, V 는 SAR센서의 이동속도이며, v 는 펄스의 시선방향(Line Of Sight, LOS)으로의 물체의 이동속도이다. 예를 들어 $R=850\text{km}$, $V=7100\text{m/s}$, $v=15\text{m/s}$ (30 knots)일 때, Δ 는 약 1800m가 된다. 일반적으로 근해에서의 배는 30 knots 이하의 속도로 움직이기 때문에 우리가 관측하는 배에 의한 물결무늬들은 배의 위치로부터 1800m 내에 위치할 것이다. 한 픽셀이 약 4m의 공간해상도를 갖는 ENVISAT위성의 ASAR Single Look Complex 영상에 적용되었다면, 위치 이동량은 약 450픽셀에 해당할 것이다.

2) Azimuth 차분을 이용한 속도측정법

Fig. 1과 같은 기하를 갖는 SAR 시스템의 원시자료 처리과정 중에 있어서, 임의의 시간 t 에서의 range-compressed 신호 $c(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다 (Hein, 2004).

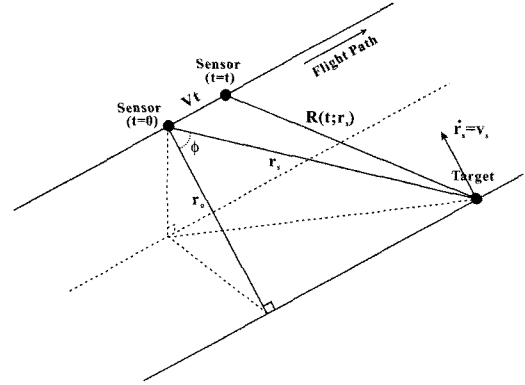


Fig. 1. SAR imaging geometry.

$$c(t) = a(t; r_s) \cdot \exp\left[-i \frac{4\pi}{\lambda} R(t; r_s)\right] \quad (2)$$

여기서, $a(t; r_s)$ 는 azimuth 방향으로의 안테나 경중률(Antenna Weighting)을 나타내고, R 은 시간 t 에서 물체와 SAR센서간의 거리를 나타낸다.

만약 목표물이 움직이는 물체라면 식(2)는 테일러 급수를 이용하여 다음과 같이 근사할 수 있다.

$$c(t) \approx a(t; r_s) \cdot \exp\left[-i \frac{4\pi}{\lambda} r_s(0)\right] \cdot \exp\left\{i \cdot 2p \left[f_{DC} + \frac{2}{\lambda} \dot{r}_s \cdot t + \frac{1}{2} f_R t^2 \right] \right\} \quad (3)$$

여기에서 f_{DC} 와 f_R 는 각각 도플러 중심주파수와 도플러 변화율이고, \dot{r}_s 와 \ddot{r}_s 는 움직이는 물체의 펄스 시선방향(Line of sight, LOS)으로의 속도와 가속도이다. 마찬가지로 시간 t_c 후의 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$c(t + t_c) \approx a(t + t_c; r_s) \cdot \exp\left[-i \frac{4\pi}{\lambda} r_s(0)\right] \cdot \exp\left\{i \cdot 2p \left[f_{DC} + \frac{2}{\lambda} \dot{r}_s \cdot (t + t_c) + \frac{1}{2} f_R (t + t_c)^2 \right] \right\} \quad (4)$$

식(3)과 (4)를 이용하여 시간 t 와 $t + t_c$ 의 azimuth 차분 $\Delta c(t_c)$ 을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta c(t_c) &= c(t + t_c) \cdot c^*(t) \\ &= a(t + t_c; r_s) a(t; r_s) \cdot \exp(i\phi_1) \cdot \exp(i\phi_2) \cdot \exp(i\phi_3) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, *는 복소켤레이고, 위상 ϕ_1 , ϕ_2 및 ϕ_3 는 아래와 같이 정의된다

$$\phi_1 = 2\pi \left(f_{DC} t_c + \frac{1}{2} f_R t_c^2 \right)$$

$$\phi_2 = 2\pi \frac{2r_s t_c}{\lambda}$$

$$\phi_3(t) = 2\pi f_{Rt} t_c, \left(-\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \right)$$

여기서, T 는 azimuth integration time이다.

식 (5)에서 위상 ϕ_1 과 ϕ_2 는 시간(t)의 함수가 아닌 반면, 위상 ϕ_3 은 시간에 따른 선형변화를 보이며, 위상 ϕ_3 의 기울기는 도플러 변화율 f_R 과 시간차 t_c 에 따라 변한다. 일반적으로 영상으로부터 f_R 을 정확히 계산하는 것은 쉽지 않다. 그러나 위상 ϕ_3 의 기울기를 이용하면 f_R 을 비교적 정확히 추정할 수 있다. 즉, azimuth 차분신호에서 azimuth line상의 위상의 선형변화율을 측정하면 이 값은 $2\pi f_{Rt} t_c$ 가 될 것이고, 이 값으로부터 f_R 을 구할 수 있다. 식 (5)로부터 물체의 이동속도(r_s)를 구하기 위해서는 위상 ϕ_1 과 ϕ_3 를 제거해야 한다. 그러나 azimuth 차분신호로부터 f_R 을 정확히 계산했다고 하고, f_{DC} 도 정확히 알고 있다고 가정하더라도 ϕ_3 를 제거하기에는 충분하지 않다. 앞서 기술한 바와 같이 위상 ϕ_3 는 시간(t)의 함수이며, 물체가 존재하는 위치 $t=0$ 로부터 앞뒤로 $T/2$ 시간 동안 물체로부터 얻은 신호가 존재한다. 결국 ϕ_3 를 제거하기 위해서는 물체가 존재하는 위치를 알아야 한다. 이는 azimuth 방향으로의 안테나 경중률 (Antenna Weighting)이 물체가 존재하는 위치에서 가장 밝게 나타나며, 주변부로 갈수록 싱크함수의 제공에 비례하여 나타나는 현상으로부터 얻어질 수 있다. 이와 같이 계산된 f_R 과 물체가 존재하는 위치를 이용하면 위상 ϕ_1 과 ϕ_3 의 값을 제거할 수 있다. 식(5)에서 ϕ_1 과 ϕ_3 의 영향을 제거한 후의 잔여위상 ϕ_2 는 다음과 같이 정의된다.

$$\phi_2 = \angle [\Delta c(t_c) \cdot \exp(-i\phi_1) \cdot \exp(-i\phi_3)] \quad (6)$$

여기서, \angle 은 복소수의 각을 의미한다.

식(6)의 ϕ_2 로부터 다음과 같이 물체의 이동속도(r_s)를 구할 수 있다.

$$r_s = \frac{\lambda}{4\pi} \frac{\phi_2}{t_c} \quad (7)$$

이러한 처리과정을 작업흐름도로 나타내면 Fig. 2와 같으며, 다음은 SAR 원시자료로부터 azimuth 위상차분을 이용하여 속도측정방법은 다음과 같다.

1. 원시자료를 range-compression하여 range-compressed 영상을 얻는다.

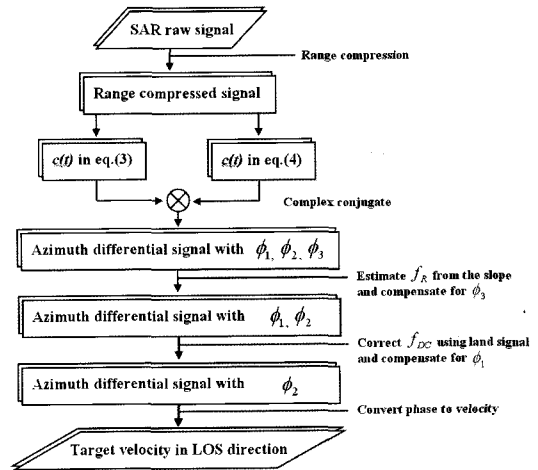


Fig. 2. The proposed flow of processing for velocity retrieval.

2. Range-compressed 영상으로부터 목표물이 위치하는 azimuth line을 추출한다.
3. t_c 만큼 azimuth 방향으로 시간차이를 지니도록 신호 $c(t)$ 와 $c(t + t_c)$ 를 만든 후, azimuth 차분 데이터를 $\Delta c(t_c)$ 제작한다. 이 경우, 일반적으로 azimuth 방향으로 1 픽셀만큼 이동($t_c = 1/PRF$)하여 azimuth 차분 데이터를 제작한다.
4. Azimuth 차분 데이터로부터 위상을 unwrapping 한 후 기울기를 측정하여 f_R 을 계산하고, range-compressed 영상의 진폭으로부터 물체가 존재하는 위치($t=0$)를 결정한다.
5. Range픽셀에 따른 f_{DC} 의 함수를 결정하고, 목표물이 위치하는 range에서의 f_{DC} 를 계산한다.
6. 식 (6)과 f_R, f_{DC} , 물체가 존재하는 위치값을 이용하여 구해진 위상 ϕ_1 과 ϕ_3 의 효과를 azimuth 차분 데이터 $\Delta c(t_c)$ 로부터 제거하고 잔여위상 ϕ_2 를 구한다.
7. 잔여위상인 ϕ_2 로부터 식 (7)을 이용하여 물체의 이동속도(r_s)를 계산한다.

3. 자료처리

2006년 1월 13일에 취득된 경기 서부해안의 ENVISAT ASAR영상(Fig. 3)에 본 알고리즘을 적용하여 보았다. 이 영상에는 항해중인 많은 배들의 상이 맺혀있고, 그 중 종래의 속도측정방법인 위치 이동량 방법

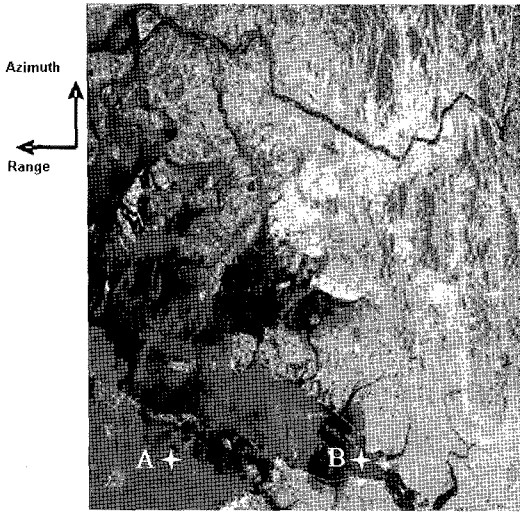


Fig. 3. ENVISAT ASAR image for test. Stars are locations of target ships.

과의 비교를 위하여 물결무늬가 잘 보이는 배들 중에서 주변환경이 다른 두 가지 배를 각각 실험대상 A, B로 선별하였다. 각각의 실험대상에 대하여 Fig. 4의 상단부는 multi-look 영상을, 하단부는 range-compressed 영상을 나타낸다.

Fig. 5는 Fig. 3의 실험대상 A에 관한 것으로, 물체의 움직임에 의한 SAR영상에서의 위치이동을 보여주고 있다. Fig. 5(a) 영상의 가운데에 밝게 보이는 것이 이동 중인 배의 상이고 그 위로 45도 정도로 비스듬하게 길게 늘어진 상이 이 배의 움직임으로 인한 물결무늬의 상이다. Fig. 5(b)는 Fig. 5(a)에서 나타나는 배와 물결무늬를 SLC영상에서 본 것이다. Azimuth 방향과 range 방향의 해상도 차이로 인하여 물결무늬가 이루는 경사는 더욱 과장되어 비스듬하게 보인다. 배의 위치와 물결무늬의 위치간의 거리는 azimuth 방향으로 약 119픽셀 ($\approx 482\text{m}$)이다. Fig. 5(c)는 Fig. 5(b)의 영상을 만들기 위한 전단계인 range-compressed 영상을 보여주고 있다. Azimuth compression이 수행되기 전의 영상이기 때문에 목표물의 신호는 azimuth line을 따라서 길게 늘어져 있는 상태이다. 그러나 목표물의 신호는 하나의 azimuth line에만 존재하는 것이 아니라 range migration에 의해서 곡률을 갖는 형태로 존재하는데, 본 알고리즘에서는 목표물의 신호를 모두 사용하는 것이 아니라 SAR센서와 목표물이 수직한 거리관계(Fig. 1에서의 r_0 일 때)인 시간의 전후에서 취득된 일부 신호만

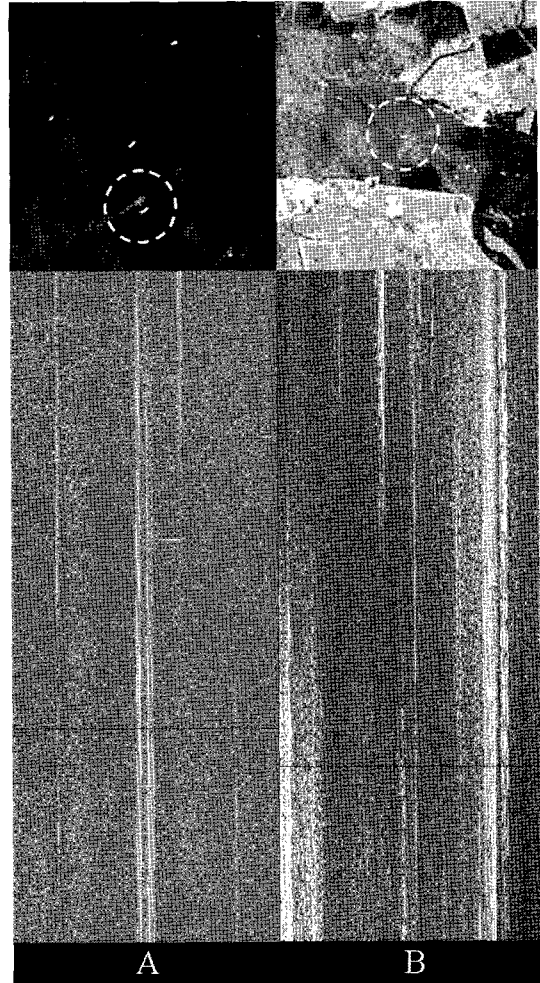


Fig. 4. Multi-look intensity images (upper) and Range-compressed images (lower) of target ships in Fig. 3.

을 사용하므로 이 range migration에 의한 효과는 고려하지 않아도 될 만큼의 적은 양이다. ENVISAT ASAR자료는 거의 zero-doppler에 가깝기 때문에 migration center는 azimuth방향으로 대칭되는 중앙에 위치한다. 따라서 Fig. 5(b)의 SLC영상에서 배의 상은 Fig. 5(c)의 영상을 azimuth compression하였을 때와 비교하여 range방향으로 거의 같은 픽셀에 위치하게 된다. Fig. 5(c)에서 중앙부분에 나타나는 두 부류의 밝은 줄 중 Fig. 5(b)의 배의 위치에 해당하는 왼쪽 줄이 목표물 배로부터 얻어지는 신호이다.

Fig. 6는 Fig. 5에 나타난 목표물의 azimuth 차분에서의 위상을 도식한 것이다. 목표물로부터 얻어지는 반사신호의 에너지는 range parabola를 따라서 분포하

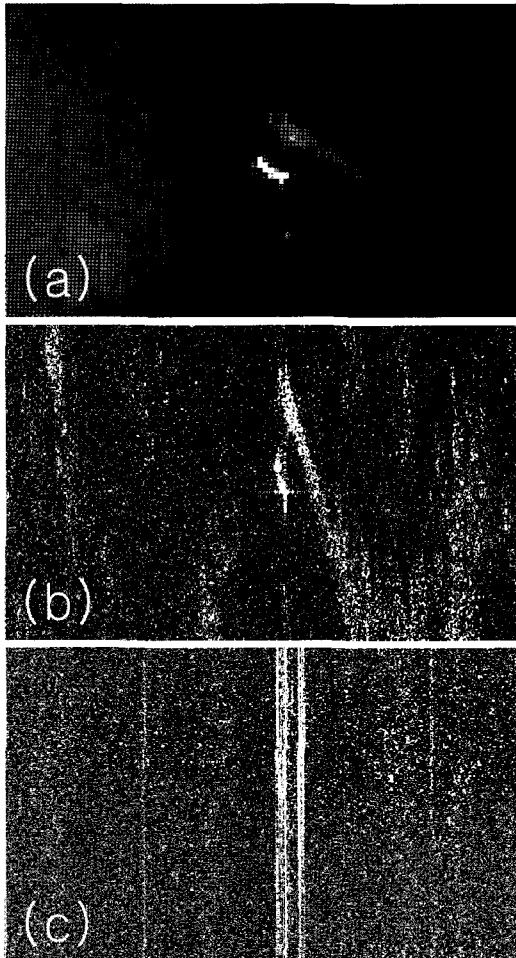


Fig. 5. Target ship and its wake. (a) multi-look intensity image (b) SLC image (c) range-compressed image.

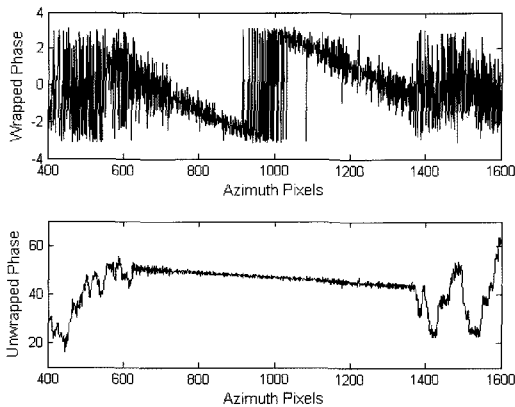


Fig. 6. Sloped phase in azimuth differential data.

로 range-compressed 영상에서 목표물의 정확한 range를 알기는 어려운 일이나, 본 알고리즘에서 사용

하는 신호는 차분값을 이용하므로 식(3)에서 나타나는 거리의 함수인 위상항 $\exp[-i\frac{4\pi}{\lambda}r_s(0)]$ 의 영향을 고려하지 않아도 된다. 따라서 차분신호의 위상체계의 긴밀도를 높이기 위해서 목표물이 위치하는 range는 Fig. 5(c)에서 가장 높은 amplitude를 갖는 azimuth line이 있는 곳으로 가정하였다. azimuth차분을 구하는데 이용하는 두 신호의 시간간격 t_c 는 $1/PRF$ 의 배수가 된다. 배와 같이 높은 레이더 반사도를 갖는 목표물에 의한 신호는 azimuth 방향으로 긴 구간에 걸쳐서 긴밀한 위상체계를 보이기 때문에 목표물이 SAR센서의 도플러 중심에 위치하는 시간을 중심으로 전후하여 선형으로 변하는 위상을 보이게 된다. 따라서 이 선형위상의 중심을 목표물의 위치로 가정하고 식(5)의 ϕ_1 와 ϕ_3 에 의한 효과를 제거하기 위해서 선형변화위상의 기울기를 구해야 한다. 이 과정에서 보통 육안으로 식별 가능한 정도의 목표물은 2π 를 넘는 구간에 걸쳐서 위상의 긴밀도가 유지되기 때문에 phase unwrapping을 해 주는 것이 좋다. 이는 일반적인 2D-unwrapping 과정이 아니라 1차원의 자료상의 위상체계가 얼마나 연속되게 분포하는지를 보기 위한 과정으로서 π 이상의 변화를 보이는 위상에 대해서 $\pm 2\pi$ 의 보정을 해 줌으로써 연속적인 값을 갖는 형태로 나타낸 것이다. 선형성을 보이지 않는 구간에 대해서는 2π ambiguity에 의해서 연결되지 않은 위상이 나타날 것이므로, 선형성이 나타나는 unwrap구간의 중심을 목표물의 위치로 가정한다.

본 연구에서 제안하는 알고리즘은 식(5)의 ϕ_1 에 포함되는 도플러 중심주파수의 값에 크게 영향을 받게 되므로, 정확한 도플러 중심주파수를 찾는 작업은 중요하다. 식(5)의 도플러 중심주파수는 목표물의 움직임을 반영하지 않기 때문에 이 값은 정적인 목표물로부터 구해져야 한다. 그러나 Fig. 3에 나타났듯이 본 연구에 사용된 영상은 바다를 많이 포함하고 있으므로 바다가 많이 포함된 range-bin에서는 해류의 움직임에 의한 도플러 중심주파수의 변이가 발생한다. 따라서 정적인 목표물인 육지의 range-bin들로부터 외삽을 통하여 바다쪽의 range-bin의 도플러 중심주파수를 수정하는 과정이 필요하다. Fig. 7의 그래프의 실선은 Soren Madsen (1989)이 제안한 line to line correlation 방법에 의해 구해진 도플러 중심주파수이다. 육지에서 측정되는 도플러 중심주파수와 바다에서 측정되는 도플러 중심주파

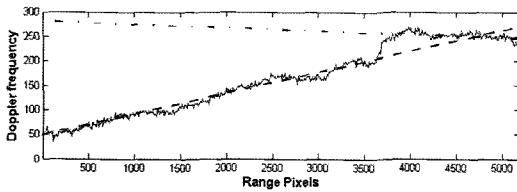


Fig. 7. Doppler frequency variation in the test image.

수는 큰 차이가 있음을 볼 수 있다. 일반적인 SAR 영상 처리에서는 range에 따라 변하는 도플러 중심주파수에 대해서 Fig. 7의 파선과 같이 1차 다항식을 계산하여 적용시키기 때문에, 전체 영상의 도플러 중심주파수는 바다쪽의 영향에 의해 왜곡된 기울기를 갖게 된다. 이러한 해류의 움직임에 의한 효과를 제거하기 위하여 본 연구에서는 육지로 이루어진 영상 오른쪽부분의 1500픽셀만 이용하여 1차 다항식을 구해서 목표물 배가 있는 range-bin에서의 도플러 중심주파수를 수정하였으며 이를 점-파선으로 나타내었다. 이는 영상전체가 정적인 물체로 가득 차 있을 때를 가정하는 것이 되므로 목표물 배가 위치하는 range에서의 목표물의 움직임을 반영하지 않은, 즉 식(5)의 조건에 부합하는 도플러 중심주파수를 구할 수 있게 된다.

4. 결과

Azimuth 차분신호로부터 구한 식(6)의 위상 ϕ_2 는 목표물의 속도와 직접적으로 관련된 값이 된다. 이 방법을 통해서 두 가지 다른 상황에 놓인 배에 대하여 속도측정을 해 보았다. Fig. 3에서 배 A는 주변이 바다로만 이루어진 곳에 위치한 목표물이고, 배 B는 연안에 위치한 목표물이다(Fig. 4를 참조). 본 연구에서 제안한 Azimuth 차분방법은 range-compression 자료를 사용하기 때문에 azimuth 방향으로 압축되지 않은 신호를 사용한다. 이는 같은 range-bin에 위치하는 여러 산란체들의 신호가 azimuth 방향으로 섞여있는 상태의 신호를 사용한다는 것이기 때문에 목표물 주변에 azimuth 방향으로 다른 산란체가 가까이에 있다면 각각의 산란체로부터 얻어지는 신호가 섞이게 된다는 것을 의미한다. 목표물을 배 A와 배 B로 나누는 것은 이와 같은 신호의 교란이 속도측정에 미치는 영향을 평가하기 위함이다.

주변이 바다로만 이루어진 목표물 배 A의 경우에는 -4.026m/s 로, 위치 이동량을 통해 구한 결과인 -3.979m/s 와 거의 일치하는 결과를 보였다. 여기서 부호는 배의 진행방향을 의미한다. 음수값은 배의 움직임이 SAR센서 방향으로 다가오는 것을 나타내고, 양수값은 배가 SAR센서에서 멀어져 가는 방향으로 움직인다는 것을 나타낸다.

배 B의 경우에는 Azimuth 차분을 이용한 결과값은 $+3.54\text{m/s}$ 인 반면, 위치변위량을 통해 측정된 값은 $+2.47\text{m/s}$ 으로 1m/s 이상의 오차를 보였다. 이러한 오차는 주로 주변 산란체의 영향으로 azimuth 차분신호에서 신호교란이 발생하여 목표물의 중심위치를 찾는 과정에서 오차가 생기기 때문이다.

5. 토의 및 결론

본 연구에서는 SAR영상으로부터 움직이는 물체의 속도를 측정하기 위한 효율적이고 간편한 알고리즘을 제안하였다. 목표물의 펄스 시선방향(LOS)으로의 속도를 구하기 위해서 range-compressed 영상에서 추출한 azimuth 차분신호를 사용하였다. 이 방법의 장점은 물결무늬와 같은 특별한 지시자가 없는 목표물에 대해서도 속도측정을 해 낼 수 있다는 것이다.

ENVISAT ASAR자료를 통한 실험결과로부터 기존의 위치 이동량을 통한 방법과의 비교를 한 결과, 주변에 다른 산란체가 없이 독립된 목표물의 경우는 0.1m/s 이내의 오차로 잘 일치하였다. 그러나 육지에 인접한 배의 경우에는 1m/s 이상의 오차를 보이는데, 이는 azimuth 차분신호에는 목표물에 의한 신호뿐만 아니라 azimuth line상의 다른 목표물에 의한 신호도 같이 섞여있기 때문이다. 목표물의 주변에 강한 레이더 반사도를 갖는 물체가 존재할 경우에는 목표물의 신호가 주변물체의 신호에 의해서 간섭을 받아서 목표물의 중심위치를 찾기가 힘들다.

Fig. 8은 Fig. 3에서 오른쪽에 위치한 육지가 가까이에 있는 곳에 위치한 배 B의 azimuth line에서의 차분 신호강도와 차분위상을 보여준다. 주변의 육지에 의한 신호와 배의 신호가 섞여서 신호강도는 두 가지 모드를 이루게 된다. 이러한 영향은 unwrap된 위상에서 선형

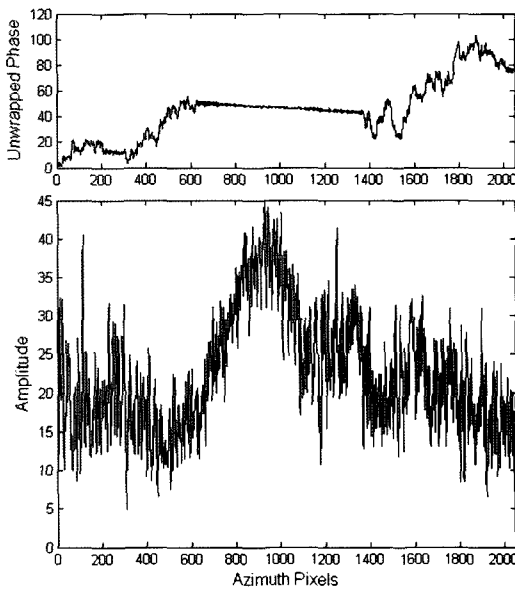


Fig. 8. Amplitude and unwrapped phase of the azimuth differential signal.

성을 유지하는 신호구간의 길이를 육지가 있는 쪽으로 편향하여 늘리게 되므로 선형위상의 중심이 목표물의 위치라는 가정에 오류가 발생한다. 따라서 이러한 상황에서 측정되는 속도는 주변의 물체와의 거리나 상대적인 레이더 반사도 차이에 따라서 다른 양의 오차를 발생시킨다.

지금까지의 결과를 바탕으로 정리하면, 주변에 레이더 반사도가 높은 물질이 없이 독립된 목표물에 대해서는 정확한 속도측정이 가능하였으나, 주변에 목표물의 신호를 교란시킬만한 다른 강한 반사도의 물질이 존재하는 경우에는 목표물의 신호만을 따로 분리하는 과정이 필요할 것이다.

참고문헌

Chong, J., M. Zhu, and G. Dong, 2002. Ship target segmentation of high-resolution SAR images, Proceedings of the 4th European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR'02, 2002, pp.693-969.

Curtis, W. C., Elaine, C., and Bryan, L. H., 2004. Performance assessment of along-track

interferometry for detecting ground moving targets, Proceeding of 2004 IEEE Radar Conference, Philadelphia, April 26-29, 2004.

Eldhuset, K., 1996. An automatic ship and ship wake detection system for spaceborne SAR images in coastal regions, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 34, no.4, July 1996, pp. 1010-1019.

Gintautas, P., F. Meyer, H. Runge, P. Reinartz, R. Scheiber, and R. Bamler., 2005. Estimation of Along-Track Velocity of Road Vehicles in SAR Data. In Proceedings of SPIE, vol. 5982, pp. 1-9, October 2005.

Hein, A., Processing of SAR data, Springer, 2004.

James, K. E., 2003. The estimation of ship velocity from SAR imagery, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '03. Proceedings.

Jose, M. B. D. and M. B. Dias, Multiple moving target detection and trajectory estimation using a single SAR sensor, 2003, IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, vol.39, pp. 604-624, Apr.

Lin, I-I. and V. Khoo, 2003. Computer-based algorithm for ship detection from SAR imagery, <http://earth.esa.int/symposia/papers/lini/>, April 2003.

Madsen, S. N., 1989. Estimating the Doppler Centroid of SAR Data, IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, vol. AES-25, pp. 134-140, Mar.

Rees, W. G., 1990. Physical principle of remote sensing, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Wahl, T., Eldhuset K., and Skoelv A., 1993. Ship traffic monitoring using the ERS-1 SAR, Proceedings of the First ERS-1 Symposium-Space at the Service of our Environment, Cannes, France, 4-6 November 1992, ESA SP-359 (March 1993), pp. 823-828.