

Range 압축 데이터 위상변위를 이용한 해수면 이동체의 시뮬레이션 고찰

김윤섭*, 양찬수

한국해양연구원 해양위성/관측기술연구부
경기도 안산시 상록구 사 2 동 1270 번지 한국해양연구원
yskim00@kordi.re.kr, yangcs@kordi.re.kr

Simulation of Moving Target by SAR Phase Shift

Youn-Seop Kim*, Chan-Su Yang

Korea Ocean Research & Development Institute, Ocean Satellite Remote Sensing & Observation Technology Research
Department

Ansan P.O. BOX 29 Seoul 425-600, Korea

Phone : 82-31-400-7678, Fax : 82-31-400-7606

요약 : 본 논문에서는 해상 클러터를 고려하여 움직이는 물체의 SAR 원시 데이터를 생성하고, SAR 원시 데이터 중간 처리 결과인 range 압축 데이터의 azimuth 차분 신호로부터 물체의 속도를 측정하는 방법을 여러 가지 환경에 적용하여 그 정확도 및 적용 가능한 경우를 분석하였다.

움직이는 물체에 의한 도플러 중심 주파수의 변이가 azimuth 차분 신호에서 위상의 변화를 가져오므로, 이를 이용하여 움직이는 물체의 속도를 측정하는 알고리즘을 정리하였다. 이 알고리즘을 위에서 생성한 range 압축 데이터에 적용하여, 타겟이 되는 물체가 독립적으로 존재하는 경우, azimuth 상에 또 다른 속도를 가지는 산란체가 존재하는 경우, 그리고 높은 후방산란계수를 가지는 육지에 타겟이 되는 물체가 인접해 있는 경우를 가정하여 속도를 측정하였다. 그 결과, 타겟이 되는 물체가 SAR 영상에서 256 픽셀 범위 내에서 독립적으로 존재할 경우에는 높은 정확도로 물체의 속도를 측정할 수 있었으나, 128 픽셀 범위에 다른 움직이는 물체가 존재하거나, 높은 후방산란

계수를 갖는 육지와 인접해 있을 경우에는 최대 1m/s 의 오차를 나타냈다. 이는 주변 산란체의 영향에 의해 신호가 교란되어 목표물의 위치를 추정하는 과정에서 오차가 발생했기 때문이다.

I. 서론

합성 개구 레이더 (synthetic Aperture Radar, SAR)는 전자파를 이용하여 비, 구름, 안개 등 기상조건이나 주·야간, 역광 등 일조현상에 관계없이 전천후로 광범위한 지역의 영상 획득이 가능하다. 또한 각각의 개구면에서 얻어진 신호를 합성하여 파장이나 탐지거리에 무관하게 고해상도 영상을 얻을 수 있는 특징이 있다. 최근 SAR 기술의 급속한 발달로 국경감시, 군사시설 탐지 등 군사 응용분야뿐만 아니라 홍수, 산불, 기름유출, 지진과 같은 자연재해 감시분야와 지질탐사, 농작물 작황, 도시개발 등 과학분야 및 민수용으로 활용분야가 증가하고 있는 추세이다(Henderson and

xia, 1997: Romeiser and Runge, 2007).

이러한 다양한 SAR 의 응용분야 중 하나로서 현재 움직이는 물체의 감지와 속도측정에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. SAR 영상을 이용한 움직이는 물체의 위치추정과 속도측정 기술은 교통상황 감시(Gintautas *et al.*, 2005) 혹은 해상에서 이동중인 배의 추적(Chong *et al.*, 2002)등에 활용되고 있다. 이러한 기술들은 해상방위나 교통감시에 있어서 필수적인 요소이다.

SAR 영상에서 물체의 움직임에 의한 이동된 상의 위치와 그 물체의 원래 위치와의 관계를 이용한 종래의 속도측정 알고리즘들(Wahl *et al.*, 1993)은 대부분 이 관계를 이용하여 속도를 측정하여 왔다. 그러나 이러한 관계를 이용하기 위해서는 우선 물체의 원래 위치를 알아내야 하는데 일반적인 상황에서 물체의 원위치를 구하는 것은 어렵다. 그리고 배의 움직임에 의한 물결무늬를 이용하기 위해서는 배의 종류와 크기, 이동속도 등을 고려해야 하며, 중심주파수와 편파, 기상상태 등의 외부 조건도 고려해야 하는 어려움이 있다. 최근에 연구되고 있는 ATI-SAR(Along Track Interferometric-SAR) 기술을 이용하여 지상에서 움직이는 물체를 찾아내는 Ground Moving Target Indication(GMTI) 알고리즘의 개발이 활성화 되었으나, 실제 SAR 에 적용한 자료를 구하기 쉽지 않은 단점이 있다.

이에 본 논문에서는 해상 클러터를 고려하여 움직이는 물체의 SAR 원시 데이터를 생성하고, SAR 원시 데이터 중간 처리 결과인 range 압축 데이터의 azimuth 차분 신호로부터 물체의 속도를 측정하는 방법(박정원 외, 2008)을 여러 가지 환경에 적용하여 그 정확도 및 적용 가능한 경우를 분석하고자 한다.

II. Azimuth 차분 신호를 이용한 속도측정 알고리즘

움직이는 물체에 대한 SAR 기하를 고려하면, SAR 원시 데이터 처리 과정 중에서 Range 방향 압축을 거친 신호는 아래 식(1)과 같이 나타낼 수 있다(Curlander and McDonough, 1991).

$$E_R(t) = E_0(R) \exp(-i \frac{4\pi}{\lambda} r(t)) \quad \dots (1)$$

식(1)에서 $E_0(R)$ 은 레이더에서의 거리가 R 인 기준점에서의 신호 강도이고, λ 는 SAR 전송 주파수의 파장, $r(t)$ 는 azimuth 시간 t 에서 타깃과 레이더 사이의 slant-range 거리를 의미한다.

식(1)에서 각각 t 와 t_c 를 대입하여 차분신호를 생성하고, azimuth 차분 신호의 위상 $\Delta\Phi$ 를 구할 수 있다.

III. SAR 원시 데이터 시뮬레이션

SAR 영상은 위성체 또는 비행체에 탑재된 SAR 에 의해서 보내진 선형주파수 변조 펄스(linear FM pulse)가 관측 지역의 산란체로부터 반사되어 오는 신호를 받아서 화상으로 표현한 것이다. SAR 영상은 촬영 방식에 따라 여러 가지 모드들이 존재하나, 본 절에서는 위성의 시선방향으로 펄스를 보내고 받는 stripmap 모드를 가정하고, 표 1 과 같이 RADARSAT-1 의 파라미터를 이용하여, slant-range 방향으로의 지연시간(τ)을 range 방향으로 하고, 레이더 비행 방향으로의 시간(t)을 azimuth 축으로 하는 2 차원 SAR 원시 데이터를 생성하고자 한다.

표 1. 시뮬레이션에 적용된 RADARSAT-1 파라미터

| Parameters | value |
|-------------------------------------|--------------|
| Carrier Frequency(radar frequency) | 5.3 (GHz) |
| Radar Wavelength | 0.0566 (m) |
| Chirp duration time | 41.74 (us) |
| Pulse Repetition frequency | 1256.98 (Hz) |
| Effective Azimuth Antenna Dimension | 15(m) |
| Satellite height | 798.5 (km) |
| Pulse bandwidth | 30.111(MHz) |
| Sampling frequency (sampling rate) | 32.317 (MHz) |
| Pulse Center Frequency | 0 (MHz) |
| Satellite Velocity | 7062 (m/s) |
| Data window start Time | 6.5956 (ms) |
| Azimuth FM rate | 1733 (Hz/s) |

stripmap 모드의 경우 목표물을 영상화하면 SAR 원시 데이터에서는 레이더 비행 방향으로의

시간 t 에 따른 개구면과 타깃과의 거리의 차로 인한 도플러 변이(Doppler Shift)와 시간차에 의한 slant range 방향으로의 상대적 지연(Range Cell Migration)이 발생하게 되어 위상의 차이를 생성하게 된다. 따라서, 개구면의 합성을 통해 각 개구면에서 발생하는 range 방향으로의 상대적 지연을 보정한 후, 위상 차이를 보정하여 수신 신호를 더함으로써 목표물에 대한 수신 값을 계산할 수 있다. 변조가 제거된(demodulation) 후의 산란체에 대한 수신 신호의 일반적인 형태를 표현하면 다음과 같다. (Runge and Bamler, 1992; Raney et al., 1994; Yeo et al., 2001)

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

여기서 τ 는 slant range 방향으로의 지연시간을 의미하고, r_s 는 타깃이 안테나의 개구면 중심에 있을 때의 slant-range 거리인 기준 slant-range 거리, σ 는 타깃의 반사도를 의미한다. $a(t; r_s)$ 는 Azimuth 방향으로의 안테나 경중률(Weighting)을 나타낸다.

IV. 속도 측정 알고리즘의 적용

SAR 원시 데이터를 영상화하기 위해서는 azimuth 방향으로의 개구를 합성하는 신호가 도플러 중심주파수 f_{DC} 와 도플러 비율 f_R 에 따라 주파수가 변조되므로, 이들 값을 아래 식을 이용하여 계산해야 한다.

$$f_{DC}(r_s) = \frac{2 \cdot V(r_s)}{\lambda} \cdot \sin[\phi(r_s)] \quad \dots (3)$$

$$f_R(r_s) = \frac{2 \cdot V^2(r_s)}{\lambda} \cdot \cos^2[\phi(r_s)] \quad \dots (4)$$

Range 압축과 azimuth 압축 과정은 range-doppler 알고리즘에 따라 range 방향으로의 정합 필터와 도플러 중심 주파수와 도플러 비율을 이용한 azimuth 방향으로의 정합 필터를 제작하여 수

행하였다. 아래 그림은 range 압축과정을 통하여 생성된 range 방향으로 압축된 영상이다.

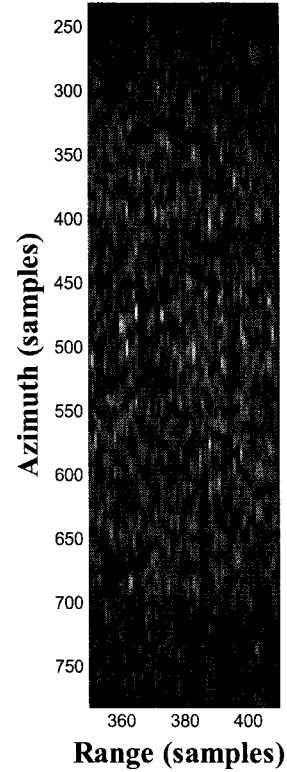


그림 1. Range 압축 과정을 거친 원시 데이터

그림 1은 위에서 생성한 range 압축 데이터를 이용하여 움직이는 물체의 속도를 측정한 결과이다. SAR 원시 데이터 생성시 설정한 타깃의 속도와 비교하여 계산된 타깃의 속도의 평균 오차는 0.09 m/s였으며, 최대 오차는 0.25 m/s로 나타났다. 이는 azimuth 차분 신호에 관한 식을 유도하는 과정에서 가정과 도플러 중심 주파수, 도플러 변화율 계산 상에서의 오차에 의한 것이다.

V. 결론

움직이는 물체에 의한 도플러 중심 주파수의 변이가 azimuth 차분 신호에서 위상의 변화를 가져오므로, 이를 이용하여 움직이는 물체의 속도를

측정하는 알고리즘을 정리하고, 이 알고리즘을 생성된 range 압축 데이터에 적용하여, 타깃이 되는 물체가 독립적으로 존재하는 경우, azimuth 상에 또 다른 속도를 가지는 산란체가 존재하는 경우, 그리고 높은 후방산란계수를 가지는 육지에 타깃이 되는 물체가 인접해 있는 경우를 가정하여 속도를 측정하였다. 그 결과, 타깃이 되는 물체가 SAR 영상에서 256 픽셀 범위 내에서 독립적으로 존재할 경우에는 높은 정확도로 물체의 속도를 측정할 수 있었으나, 128 픽셀 범위에 다른 움직이는 물체가 존재하거나, 높은 후방산란계수를 갖는 육지와 인접해 있을 경우에는 1m/s 이상의 오차를 나타냈다. 이는 주변 산란체의 영향에 의해 신호가 교란되어 목표물의 위치를 추정하는 과정에서 오차가 발생했기 때문이다. 따라서 azimuth 차분 신호를 이용한 움직이는 물체의 속도 측정 알고리즘은 속도를 측정하고자 하는 타깃의 azimuth 방향으로 256 픽셀 이상의 범위에서 독립적으로 존재할 경우에 1m/s 의 오차 범위 이내의 결과를 얻을 수 있다.

감사의 글

본 연구는 기초기술연구회 NAP 과제 “해양 유출 사고 대응을 위한 관측망 구축 및 친환경 복원체계 구축” 및 “해양활용 연구” 수행의 결과이다.

참고문헌

- 박정원, 정형섭, 원중선, 2008. SAR 영상의 azimuth 차분을 이용한 움직이는 물체의 속도측정방법, *Korea Journal Remote Sensing*, 24(2): 91-98
- 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
- Curlander J. C. and McDonough R. N. 1991, *Synthetic Aperture Radar : systems and signal processing*, Jhon Wiley & Sons, INC.
- Gintautas, P., f. Meyer, H. Runge, P. Reinnartz, R. Scheiber,

- and R. Bamler., 2005. Estimation of Along-Track Velocity of Road Vehicles in SAR Data. *In Proceedings of SPIE*, vol. 59, pp. 1-9
- Henderson, F. M. and Z. G. Xia, 1997. SAR applications in human settlement detection, population estimation and urban land use pattern analysis: a status report, *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(1): 79-85
- Romeiser, R. and H. Runge, 2007. Theoretical evaluation of several possible along-track InSAR modes of TerraSAR-X for ocean current measurements, *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(1): 21-35
- Wahl, T., Eldhuset K., and Skoelv A., 1993. Ship traffic monitoring using the ERA-1 SAR. *Proceedings of the First ERS-1 SAR Symposium-Space at the Service of our Environment, Cannes, France, 4-6 November 1992*, ESA SP 359, pp. 823-828