

SAR Imaging 시스템의 신호 대역폭 추정에 따른 위상오차 제거기법 연구

The Phase Error Correction Scheme Using the Iterative Signal Bandwidth Estimation in SAR Imaging System

김형주, 최정희

대구대학교 정보통신공학부

E-mail : kimhj{choijh}@biho.taegu.ac.kr

Tel : 053)850-6632

ABSTRACT

SAR imaging 시스템 전파환경에서 목표물의 정보를 성공적으로 추출해 내기 위해서는 반사된 신호를 수신할 때 Coherent detection이 필수적이다. 수신시 Incoherent detection은 복소 위상오차 형태로 나타나서 실제 목표물의 영상에 심각한 Degradation을 야기시켜 치명적인 결과를 초래하게 된다. 본 논문에서는 하나의 목표물에서 수신되는 신호를 파동방정식으로부터 모델링하고 모델링된 신호의 각 주파수대의 조합에 의해 전체 수신신호로부터 위상오차의 기울기를 유도한다. 더욱더 정확한 위상오차를 추정하기 위해 추정된 위상오차로부터 수신신호에 포함된 오차를 제거하고, 오차가 제거된 신호의 대역폭을 추정한다. 추정된 대역폭에 맞도록 알고리즘에 재 적용시켜 교정되지 못한 오차를 추정해 나간다. 이때 반복적인 위상오차 제거기법을 적용하고 Iteration의 종료 여부를 자동으로 결정하기 위해 지능형 대역폭 추정 기법을 제시한다. 컴퓨터 모의 실험에서, 위상오차를 포함한 수신 신호로부터 알고리즘을 적용하여 오차를 제거하고, Wavefront Reconstruction 기법에 적용시켜 알고리즘의 성능을 영상으로 확인한다.

I. 서 론

SAR(Synthetic Aperture Radar)imaging 시스템이란 비행기나 위성에 작은 송 수신 안테나를 탑재하여 물리적으로 제한된 안테나 크기를 합성함으로써, Cross-Range에 대한 해상도를 향상시켰다. 이러한 시스템에서 목표물의 정보를 성공적으로 추출해내기 위해서는 반사된

신호를 수신할 때 Coherent detection이 필수적이다. 레이더가 정해진 직선 경로를 정확히 움직이지 않고, 안테나 위상중심(APC)의 흔들림 또는 APC와 측정 지역과의 보상되지 않은 원하지 않는 움직임 들은 Incoherent detection의 요인으로 작용하며 incoherent detection은 복소 위상오차 형태로 나타나서 실제 목표물의 영상에 심각한 Degradation을 야기시켜 치명적인

결과를 초래하게 된다. 또한 복소 위상오차는 사용하는 Source 신호의 주파수와 직접적인 연관이 있어 Cross-range 고해상도의 영상을 얻기 위해 높은 주파수의 Source 신호를 사용하는데 저해가 되는 요소이다. Incoherent detection의 요인으로서는 여러 가지가 있을 수 있으나 그 중에서 목표물에 대한 레이더의 움직임이 가장 큰 요인이 된다. 기존에 위상오차를 제거하는 대부분의 기법들은 위상오차의 차수에 대한 모델식을 이용하여 제거하기 원하는 위상오차 차수의 계수를 추정함으로써 이루어진다. 본 논문에서는 이전의 계수추정 기법들과 다르게 위상오차 함수식을 파동방정식으로부터 직접 유도하여 추정하는 위상오차를 구해낸다. 그리고, 반복수행을 적용하는데 알고리즘에 재 적용시 위상오차의 대역폭을 추정함으로써 위상오차 교정 여부를 판단하게 된다. 반복연산의 자동적인 종료를 위해 신호에 포함된 위상오차의 95% 대역폭을 추정함으로써 이루어진다. 위상오차가 제거된 신호로부터 Wavefront reconstruction 기법을 적용하여 직접 영상으로 오차교정 여부를 볼 수 있다.

II. 시스템 모델과 제안 알고리즘

기본적인 Imaging 시스템으로는 Two dimensional monostatic spotlight-mode SAR imaging 시스템에 대하여 고려한다. 레이더가 움직여가는 방향을 Cross-range 혹은 Azimuth 방향(parameter u , ku)이라 하고, Cross-range에 수직인 방향을 Range(거리) 방향(parameter t , w)이라 하겠다. 우선, 기본적인 SAR Geometry의 좌표를 살펴보면, Cross-range방향은 (x, y) 영역에서 $x = X_1$ 좌표를 따라 레이더가 움직이고 레이더와 목표물까지의 거리를 나타내는 좌표 즉, 목표물의 중심은 (x, y) 영역에서 $(0,0)$ 위치에 있다. 여기서 x 좌표는 거리를 나타내고, y 좌표는 거리방향에 수직인 방향으로의 좌표이다. 전파가 공기중을 전파하는 속도를 c 라 하면, 전파의 파수 k 는

$k \equiv \frac{\omega}{c}$ 이다. 레이더가 움직이는 합성개구의 범위는 $[-L, +L]$ 이고, 전파형태는 Spherical 이다. 이러한 Geometry에서 수신되는 신호는[3][6],

$$s(u, w) = \int \int f(a, b) \exp[j2k\sqrt{(X_1 + a)^2 + (u + b)^2}] da db \quad (1)$$

앞으로 처리하게 될 신호는 Azimuth 방향으로 압축된 신호이다[10].

$$s_0(u, w) = \int \int f(a, b) g_{a,b}(u, w) da db \quad (2)$$

$$\text{where, } g_{a,b}(u, w) \equiv \exp\left[-j\frac{2kb}{X_1}u + jk\frac{a^2 + b^2 - 2aX_1}{X_1}\right] \quad (3)$$

$g_{a,b}(u, w)$ 는 하나의 점 표적으로부터 수신되는 신호의 위상이다. 따라서, 이것은 파동 방정식을 만족하고, 파동 방정식으로부터 수식을 유도해 내면 $g_{a,b}(u, w)$ 는 항상 식(4)를 만족한다[1].

$$\frac{\partial^2}{\partial u^2} g_{ab}(u, w) + \left(\frac{2kb}{X_1}\right)^2 g_{ab}(u, w) = 0 \quad (4)$$

움직임에 의한 위상오차는,

$$\Omega_e(u, w) \equiv kB(u) \quad (5)$$

where, k : 파수, $B(u)$: 경로오차

하나의 목표물에서 수신되는 위상오차를 가진 신호를 $p_{ab}(u, w)$ 라 했을 때

$$p_{ab}(u, w) = g_{ab}(u, w) \exp[\Omega_e(u, w)] \quad (6)$$

모든 목표물에서 반사된 수신신호는 식(7)과 같다.

$$\frac{\partial^2}{\partial u^2} p_{ab}(u, w) + 2 \frac{\partial}{\partial u} p_{ab}(u, w) \frac{d}{du} \Omega_e(u, w) + \left[\frac{d^2}{du^2} \Omega_e(u, w) + \left[\frac{d}{du} \Omega_e(u, w) \right]^2 + \left(\frac{2kb}{X_1} \right)^2 \right] p_{ab}(u, w) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{d}{du} B(u) = \frac{k_j \frac{\partial^2}{\partial u^2} r(u, w_j) r(u, w_i) - k_i \frac{\partial^2}{\partial u^2} r(u, w_i) r(u, w_j)}{2 k_i k_j \left[\frac{\partial}{\partial u} r(u, w_j) r(u, w_i) - \frac{\partial}{\partial u} r(u, w_i) r(u, w_j) \right]} \quad (9)$$

$$r(u, w) = \int \int f(a, b) p_{ab}(u, w) da db \quad (7)$$

식(4)(7)을 이용하여 하나의 목표물에서 수신되는 신호 식(8)을 유도할수 있다.

우리가 처리하게될 신호는 전체 Imaging영역으로부터 수신된 신호다. 따라서, 식(7)을 단일 주파수에 대한 식으로 각각 표현하고 그 각각에

$k, p_{cd}(u, w_j), k_i p_{ab}(u, w_i)$ 를 곱하고 또 다시 서로 빼고 $\left(\frac{d}{du} B(u)\right)^2$ 항을 무시한다.

$\left(\frac{d}{du} B(u)\right)^2$ 항을 무시할수 있는 이유는

$\left(\frac{d}{du} B(u)\right)^2$ 은 $\frac{d}{du} B(u)$ 항에 비해 훨씬 작고, 레이다 신호의 대역폭은 그것의 중심 주파수에 비해 훨씬 작기 때문이다. 그리고, 분자와 분모에 각각 $f(ab), f(cd)$ 를 각각 곱하면, 우리가 원하는 위상오차가 식(9)와 같이 전체 목표물에서 수신된 신호의 미분과 두 번 미분된 형태의 조합으로 나타난다

III. 제안 알고리즘의 실행 및 성능분석

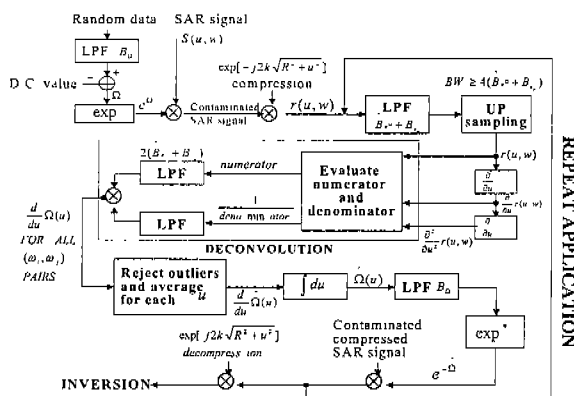
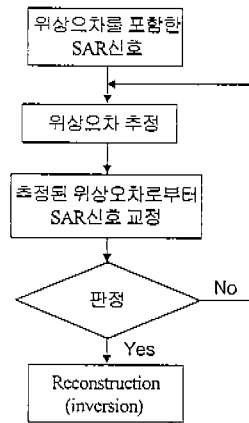


그림 1. 위상오차제거 Block Diagram



□ 판정
 추정된 위상오차의 $B.W = B.W_{\text{corrected signal eng95}} - B.W_{\text{SAR signal with no phase error}}$
 추정된 위상오차의 $B.W_{i+1} \geq B.W_i$
 i : Iteration number

그림 2. 대역폭 추정에 따른 반복적용 위상오차 제거기법의 자동적인 종료를 위해 신호의 95%대역폭을 추정하여 교정하기전과 교정 후에 거의 대역폭의 변화가 없으면 모든 위상오차가 제거된 것으로 판단하고 Inversion 기법을 수행한다[그림 2].

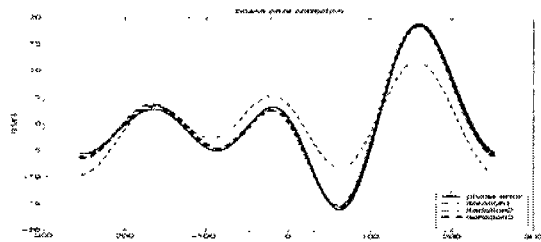
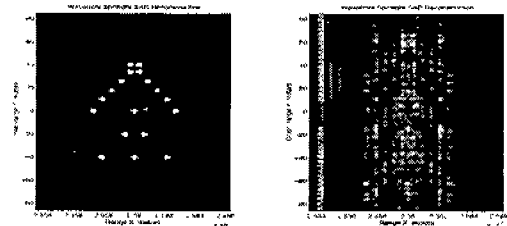


그림 3. 위상오차 추정



Without phase error

With phase error contamination

그림 4. 위상오차의 영향

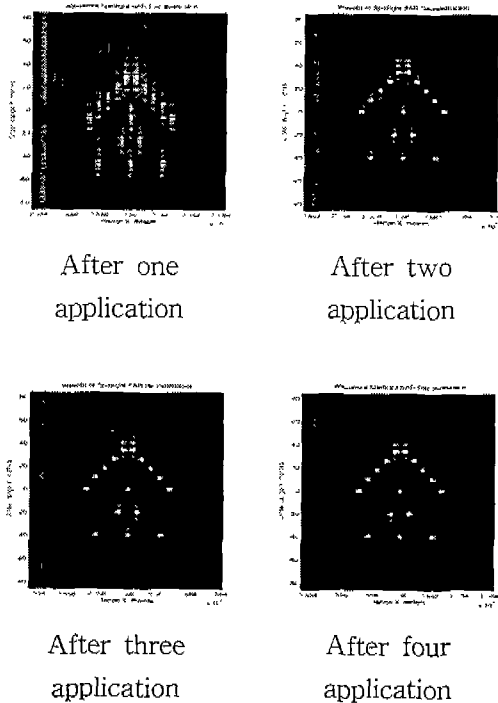


그림 5. Inversion 기법에 의해 복구된 영상들

IV. 결론

본 논문에서는, Spotlight-mode SAR 시스템의 위상오차 제거 알고리즘에 대하여 연구하였다. 이 알고리즘은 하나의 목표물에서 수신되는 전파를 파동방정식에서 모델하고, 전체 목표물에서 수신되는 신호의 형태로 확장하였다. 그리고, 유도된 수식을 Matlab으로 실행하여 알고리즘이 위상오차를 잘 제거할 수 있음을 알수 있었다. 또한 Inversion 기법을 적용하여 위상오차가 영상에 미치는 영향을 영상으로 확인하였으며, 위상오차가 제거된 신호로부터 영상화 함으로써 알고리즘의 성능을 영상을 통하여 확인할 수 있었고, 알고리즘에 반복적용을 통하여 큰 위상오차 까지도 제거할 수 있음을 확인했다. 반복적용시 신호에 포함된 위상오차의 정도를 대역폭을 추정함으로써 알수 있었다. 반복적용은 신호의 95%대역폭 추정에 따라 결정하는데 만약, 신호에 포함된 위상오차가 거의 제거 되었다면, 교정된 신호는 다시 알고리즘에 재 적용 시킨다해도 신호 대역폭에는 거의 영향을 미치지 않는다. 대역폭 추정은 위상오차의 교정

여부를 판단하는 기준이 된다.

References

- 1] J.W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics", New York: McGraw-Hill, 1968.
- 2] Mehrdad Soumekh, Jeong-Hee Choi, "Phase and Amplitude Phase Restoration in Synthetic Aperture Radar Imaging", IEEE Transactions on image processing. vol. 1, no 2. April 1992
- 3] M. Soumekh, "Echo imaging using physical and synthesized arrays," Optical Engineering, 29(5), pp.545-554, May 1990
- 4] M. Soumekh, "Echo imaging using physical and synthesized arrays," Optical Engineering, 29(5), pp. 545-554, May 1990.
- 5] Walter G. Carrara, Rom S. Goodman, Ronald M. Majewski, "Spotlight Synthetic Aperture Radar" 1995
- 6] M. Soumekh, "A system model and inversion for synthetic aperture radar imaging, Proc, ICASSP'90, Albuquerque, April 1990.
- 7] Mehrdad Soumekh, "Synthetic Aperture Radar Signal Processing with Matlab Algorithms" 1999
- 8] M. Soumekh, "phase reconstruction/ unwrapping from amplitude for diffracted waves using a perturbatin solution of the wave equation", IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, 36, p. 1076, July 1988
- 9] P.H.Eichel and C.V.Jakovatz Jr, "Phase gradient algorithm as an optimal estimator of the phase derivative", Vol. 14, No. 20 Optic letters 1989
- 10] Choi J.H., "Signal compression of wavefront inversion in Synthetic Aperture Radar imaging", Taegu university the journal of science and technology vol. 5. No 5 B 1999. 02