

데이터 손실이 있는 RCS 데이터에서 압축 센싱 이론을 적용한 ISAR 영상 복원 알고리즘 연구

A Study on the ISAR Image Reconstruction Algorithm Using Compressive Sensing Theory under Incomplete RCS Data

배지훈 · 강병수 · 김경태 · 양은정*

Ji-Hoon Bae · Byung-Soo Kang · Kyung-Tae Kim · Eun-Jung Yang*

요 약

본 논문에서는 불완전한 radar-cross-section(RCS) 데이터로부터 inverse synthetic aperture radar(ISAR) 영상 복원과 동시에 표적의 회전각도를 추정하기 위한 compressive sensing(CS) 기반의 레이더 신호 모델을 적용한 parametric sparse 복원 알고리즘을 제안하고자 한다. Sparse 복원 알고리즘으로는 iteratively-reweighted-least-square(IRLS) 기법을 이용하여 각도 방향(cross-range)에서 모르는 처프 비율(chirp rate)의 처프 성분을 포함하는 레이더 신호 모델과 결합한다. 그리고, particle swarm optimization(PSO) 최적화 알고리즘을 이용하여 표적의 회전각도와 연관된 파라미터들을 추출한다. 따라서, RCS 데이터 샘플에 데이터 손실이 발생하더라도 본 논문의 IRLS 기반 parametric sparse 복원 알고리즘에 따라 효율적으로 ISAR 영상을 복원할 수 있고, 동시에 표적의 회전각도를 추정할 수 있다. 또한, 불완전한 RCS 데이터 샘플에 대하여 영상의 엔트로피 관점에서 본 논문에서 제안한 방법의 성능과 전통적인 보간법의 성능을 서로 비교 관찰한다.

Abstract

In this paper, we propose a parametric sparse recovery algorithm(SRA) applied to a radar signal model, based on the compressive sensing(CS), for the ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) image reconstruction from an incomplete radar-cross-section(RCS) data and for the estimation of rotation rate of a target. As the SRA, the iteratively-reweighted-least-square(IRLS) is combined with the radar signal model including chirp components with unknown chirp rate in the cross-range direction. In addition, the particle swarm optimization(PSO) technique is considered for searching correct parameters related to the rotation rate. Therefore, the parametric SRA based on the IRLS can reconstruct ISAR image and estimate the rotation rate of a target efficiently, although there exists missing data in observed RCS data samples. The performance of the proposed method in terms of image entropy is also compared with that of the traditional interpolation methods for the incomplete RCS data.

Key words: Compressive Sensing, Iteratively-Reweighed-Least-Squares, Particle Swarm Optimization, ISAR Image, Rotation Rate Estimation

「본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 레이더/IR 표적식별 특화연구실 사업의 일환으로 수행되었습니다.」

포항공과대학교 전자공학과(Department of Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology)

*국방과학연구소 (Agency for Defense Development)

· Manuscript received July 7, 2014 ; Revised August 27, 2014 ; Accepted September 4, 2014. (ID No. 20140707-050)

· Corresponding Author: Kyung-Tae Kim (e-mail: kkt@postech.ac.kr)

I. 서론

Inverse synthetic aperture radar(ISAR) 영상은 표적의 2차원 산란점 분포들을 보여주는 진단 기법으로, 다양한 레이더 신호처리 분야에 응용되어 왔다. 일반적으로 실제 표적의 운동성분은 표적의 병진 운동(translational motion)과 회전 운동(rotational motion)을 포함하고 있으며, 상기 표적의 병진 운동은 ISAR 영상을 왜곡시키는 성분으로, 이를 보상하기 위한 여러 가지 기법들이 연구되어 왔다^[1]. 또한, 표적의 회전 운동은 ISAR 영상을 형성하는데 도움이 되는 성분이나 레이더의 총 표적 관찰 시간인 coherent processing interval(CPI)가 길면, migration through resolution cell(MTRC) 및 시변(time-varying) 도플러 주파수 성분 때문에 표적의 회전비율이 일정하지 않아 ISAR 영상의 품질을 저해하거나 왜곡되는 현상이 발생할 수 있다^[2]. 따라서, 본 연구에서는 ISAR 영상 형성을 위하여 표적의 병진 운동은 이미 보상되었다고 가정하고, CPI가 상대적으로 짧아서, CPI 구간 동안 표적의 회전비율(rotation rate)이 일정하다고 가정한다. 한편, 다표적 추적 및 식별을 위한 능동 위상 배열 안테나를 탑재한 최신 ISAR 시스템에 따르면, 여러 표적을 동시에 연달아 추적할 경우, 각 표적에 대한 완전한 RCS 데이터를 수집하지 못할 수 있다^[3]. 이는 표적의 각도 방향(cross-range direction)으로 수신된 RCS 데이터 샘플에 데이터 손실을 야기할 수 있으며, 기존 Fourier-transform(FT) 기반 알고리즘을 이용하면 ISAR 영상이 왜곡될 수 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 압축 센싱(compressive sensing: CS) 기반의 sparse 복원 알고리즘을 이용하여 데이터 손실이 있는 RCS 데이터 샘플로부터 ISAR 영상을 복원함과 동시에 표적의 회전각도를 추정하고자 한다. 이를 위하여 ISAR 영상을 위한 레이더 수신신호가 각 레인지 빈(range bin)에서 산란점 개수에 해당하는 여러 개의 처프(chirp) 신호의 합으로 모델링이 가능하고, 이를 sparse 복원 알고리즘의 기저 함수(basis functions)로 설정하여 ISAR 영상을 복원한다. 현재까지 CS 기반 신호처리 기법들이 다양한 레이더 신호처리 분야에 적용되는 연구들이 진행되어 왔는데, 이는 표적의 산란점들로부터 역산란되는 신호들이 전체 ISAR 영상 영역에서 일부 영역에 해당하는 산란점 개수만큼의 위상합으로 표현되는 sparse 신

호로 간주될 수 있기 때문이다^[4]. 이를 기반으로 본 연구에서 고려하는 sparse 복원 알고리즘으로 iteratively-reweighted-least-squares(IRLS) 기법을 사용하고자 한다. 상기 IRLS 기법은 sparse 해를 구하는 최적화 처리 조건인 l_p -norm을 매 반복 회수마다 가중치의 최소자승법(weighted least square)으로 대체하여 최적화를 수행한다. 따라서, 데이터 손실이 있는 RCS 데이터로부터 ISAR 영상을 복원하고, 이와 동시에 표적의 회전각도 추정을 위하여 본 논문에서 제안하는 방법은 sparse 복원 알고리즘으로 상기 IRLS 기법과 ISAR 영상의 처프 신호를 구성하는 최적의 파라미터들을 구하기 위한 particle swarm optimization(PSO) 최적화 알고리즘과 서로 결합하여 상기 목적들을 달성하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 처프 신호로 구성되는 ISAR 영상 모델을 소개하고, III장에서는 IRLS 기법을 레이더 신호 모델에 적용하고, PSO 최적화 알고리즘과 결합하여 ISAR 영상을 복원하는 방법을 제안하며, IV장에서는 데이터 손실이 있는 RCS 데이터로부터 III장에서 제안한 방법으로 ISAR 영상을 복원한 시뮬레이션 결과들을 보여준다. 마지막으로, V장에서는 IV장의 시뮬레이션 결과로부터 결론을 도출한다.

II. ISAR 신호 모델

그림 1과 같이 표적의 회전 운동으로 인하여 P_0 초기 위치의 산란점이 P_1 으로 이동되었을 경우, $R_0 \gg r$ 및 CPI가 충분히 길지 않는 조건하에 산란점으로부터 반사되는 신호 위상은 다음과 같이 구할 수 있다^[5].

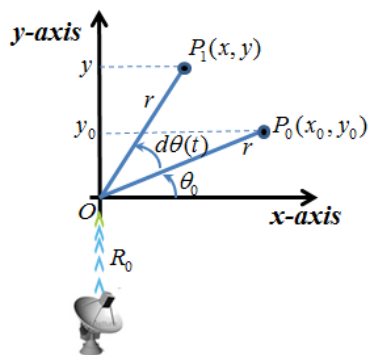


그림 1. 회전하는 산란점 모델
Fig. 1. Rotation model of a scatterer.

$$\psi(t) \approx \frac{4\pi}{\lambda}(R_0 + y_0 + x_0 d\theta(t) - 1/2y_0[d\theta(t)]^2). \quad (1)$$

이때, 식 (1)의 상수항은 각도 방향 range-profile 형성에 영향을 미치지 않으며, $x_0 d\theta(t)$ 항은 ISAR 영상 형성에 필요한 각도 방향의 산란점 위치 성분이고, 마지막 항은 ISAR 영상의 각도 방향의 품질을 저해하는 성분으로 보상되어야 한다. 만약, 표적의 거리방향(down-range direction)으로 pulse compression 및 영상을 왜곡시키는 성분들이 사전에 보상되었다고 가정하면, 각도 방향의 반사신호는 식 (1)로부터 다음과 같이 처프 신호로 모델링이 가능하다.

$$E^s = A \exp\left[j2\pi\left(f_D t + \frac{1}{2} K t^2\right)\right], \quad (2)$$

여기서, A 는 산란점 크기를, $f_D = 2x_0\Omega/\lambda$, $K = -2y_0\Omega^2/\lambda$, $d\theta(t) = \Omega t$, λ 는 주파수 파장을, Ω 은 표적의 회전 비율을 각각 나타낸다. 따라서, m -th 레인지 빈 당 L 개의 산란점들로부터 반사되는 신호는 다음과 같이 여러 개의 처프 신호의 합으로 구성이 가능하다.

$$E_m^s(n) = \sum_{i=1}^L A_i \exp\left[j2\pi\left(f_{D_i} n T + \frac{1}{2} K_m n^2 T^2\right)\right], \quad (3)$$

여기서, A_i 는 i -th 산란점 크기를, f_{D_i} 는 i -th 산란점의 도플러 주파수를 ($n=0, 1, \dots, N-1$), T 는 펄스 반복 시간을 각각 나타낸다. 그리고, K_m 은 m -th 레인지 빈에서의 처프 비율(chirp rate)을 의미하고, 다음과 같이 처프 비율과 레인지 빈 인덱스와의 선형 관계에 있다⁶⁾.

$$K_m = \frac{-2(y_0 + m\Delta R)\Omega^2}{\lambda} = K_0 + m\delta, \quad (4)$$

여기서, ΔR 은 거리 해상도를, K_0 는 기준 레인지 빈에서의 처프 비율을, $\delta = -2\Delta R\Omega^2/\lambda$ 을 각각 나타낸다.

III. IRLS를 이용한 ISAR 영상 복원 알고리즘

본 절에서는 상기 식 (3)의 레이더 신호 모델로부터 ISAR 영상을 복원하는 알고리즘을 소개하고자 한다. 그림 2와 같이 각도 방향의 총 N 개의 버스트(burst) 중에서 데

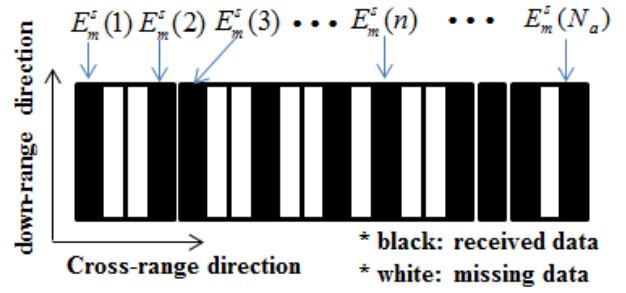


그림 2. 데이터 손실이 있는 수신 레이더 신호
Fig. 2. Received radar signal with missing data.

이터 손실에 의하여 N_a 개만 수신한 경우, 식 (3)은 다음과 같은 sparse 신호 표현을 위한 행렬 및 벡터 곱으로 표현이 가능하다.

$$\underline{y}_m = A(K_m) \underline{x}_m = A(K_0, \delta) \underline{x}_m, \quad (5)$$

여기서, $\underline{y}_m = [E_m^s(1) E_m^s(2), \dots, E_m^s(N_a)]^T$, \underline{x}_m 은 m -th 레인지 빈에서 각도 방향 cross-range profile을, $A(K_m)$ 은 처프 신호를 기저로 갖는 행렬로 $A(K_m)$ 의 n -th 열벡터 \underline{a}_n 는 다음 식과 같이 정의된다.

$$\underline{a}_n = [e^{j2\pi(1f_n + 0.5K_m 1^2)} e^{j2\pi(2f_n + 0.5K_m 2^2)}, \dots, e^{j2\pi(N_a f_n + 0.5K_m N_a^2)}]^T, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

여기서, $f_n = (n-1)/N$ 이다. 상기 식 (5)는 $N > N_a$ 의 부족 결정 시스템(underdetermined system)으로 해가 무수히 많이 존재하나, 산란점의 크기는 각도 방향 cross-range profile 영역에서 sparse하게 분포되기 때문에, 다음 식과 같이 l_0 -norm을 최소로 하는 최적화 문제로 구할 수 있다.

$$\min \|\underline{x}_m\|_0 \quad s.t. \quad \underline{y}_m = A(K_0, \delta) \underline{x}_m. \quad (7)$$

본 연구에서는 상기 식 (7)의 최적화 문제를 다루기 위하여 IRLS 방법을 이용하여 다음 식과 같은 최적화 문제로 재구성한다.

$$\min \|\underline{W} \underline{x}_m\|_2^2 \quad s.t. \quad \underline{y}_m = A(K_0, \delta) \underline{x}_m, \quad (8)$$

여기서, \underline{W} 는 대각 행렬로 가중치의 l_2 -norm이 최소화 되도록 반복 갱신되면서 sparse 해를 구하는 방식으로, 자세

한 알고리즘은 참고문헌 [7]의 3.2절의 Fig.3.7을 참고한다. 따라서, 최종 ISAR 영상은 다음 식과 같이 모든 레인지 빈($m=1, 2, \dots, M$)에서 식 (8)로부터 구한 각도 방향 cross-range profile인 x_m 벡터들로 구성된다.

$$X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_M]. \quad (9)$$

이때, 상기 식 (9)의 ISAR 영상을 형성하기 위하여 파라미터 (K_0, δ)를 추출하여야 하며, 상기 추출된 파라미터로부터 다음과 같이 표적의 회전각도를 추정할 수 있다.

$$\Theta = \sqrt{\lambda\delta / (2\Delta R)} \times \text{CPI}. \quad (10)$$

따라서, 본 연구에서는 PSO 최적화 알고리즘^[8]을 이용하여 영상의 focal quality를 측정하기 위한 다음의 적합도 J^m 가 최대가 되도록 상기 파라미터를 구한 후, 식 (10)로부터 표적의 회전각도를 추정한다.

$$J = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{P-1} \left| \frac{I(m,n)}{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{P-1} I(m,n)} \right|^\beta, \quad (11)$$

여기서, $I(m,n)$ 는 ISAR 영상 X 의 (m,n) 픽셀에서의 크기를 나타내고, β 는 양의 상수값을 갖는다. 결국, PSO 알고리즘에서 상기 파라미터 (K_0, δ)를 개체들(particles)로 설정하고, 식 (11)로부터 개체들의 적합도(fitness)를 계산하여 최대 적합도에 해당하는 파라미터 값을 추출한 다음, 식 (8)의 IRLS 방법 및 식 (9)를 이용하여 ISAR 영상을 형성한다. 이러한 과정은 PSO 알고리즘의 최적화 과정이 종료될 때까지 반복 수행된다. 이때, 최적화 종료 조건은 현재의 최대 적합도와 그 이전의 최대 적합도를 서로 비교하여 5회 이상 연속적으로 그 값의 변화가 없을 경우 최적화를 종료하였다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 III장에서 기술한 ISAR 영상 복원 알고리즘을 이용하여 데이터 손실이 발생한 RCS 데이터로부터 ISAR 영상이 정상적으로 복원되는지 살펴본다.

4-1 ISAR 영상 복원 시뮬레이션

표 1. ISAR 영상 형성 시뮬레이션 조건

Table 1. Simulation condition for ISAR image.

항목	내용	비고
중심주파수	9.5 GHz	
대역폭	1 GHz	
스텝 주파수 개수(M)	200 개	
펄스반복주파수(PRF)	15 KHz	
버스트 개수(N)	150 개	
표적의 총 회전각도(Θ)	4.03도	CPI 구간 동안

먼저, ISAR 영상을 형성하기 위한 시뮬레이션 조건은 상기 표 1과 같이 주어진다. 이때, ISAR 영상을 위한 표적은 비행기 모양을 갖는 88개의 이상적인 점산란체(point-scatterer)로 구성되어 있다고 가정하였다.

그림 3은 각도 방향으로 RCS 데이터 손실이 랜덤으로 50 % 발생하였을 경우(그림 3(b)), 본 연구에서 제안한 알고리즘을 이용하여 ISAR 영상을 복원한 결과를 보여준다. 또한, 본 결과에서 널리 알려진 보간법(interpolation method)을 이용하여 불완전한 RCS 데이터 샘플에서 손실된 데이터를 보간하여 ISAR 영상을 복원한 결과도 함께 비교하였다. 이때, 그림 3(a)는 상기 표 1의 조건 하에 데이터 손실이 없는 RCS 데이터로부터 기존 FT 기반 알고리즘을 이용한 결과를, 그림 3(b)는 50 %의 데이터 손실이 발생한 RCS 데이터 샘플 결과를 보여준다. 그리고, 그림 3(c)는 그림 3(b)의 RCS 데이터로부터 기존 FT 기반 알고리즘을 적용한 결과를, 그림 3(d)는 그림 3(b)의 RCS 데이터로부터 최근접 이웃(nearest-neighbor) 보간법을 이용하여 복원한 결과를, 그림 3(e)는 그림 3(b)의 RCS 데이터로부터 선형(linear) 보간법을 이용하여 복원한 결과를 각각 보여준다. 마지막으로 그림 3(f)는 그림 3(b)의 RCS 데이터로부터 본 제안 방법으로 복원한 결과를 보여준다. 그림 3(c)의 결과와 같이 불완전한 RCS 데이터에 기존 FT 기반 알고리즘을 적용할 경우, ISAR 영상이 왜곡되는 것을 관찰할 수 있다. 이에 반해, 본 연구에서 제안한 방법으로는 비록 RCS 데이터 손실이 발생하더라도 영상의 품질이 우수한 ISAR 영상을 성공적으로 복원할 수 있는 것을 관찰할 수 있다. 또한, 그림 3(d),(e)의 보간법을 이용하는 경우와 비교하여, 제안한 방법으로 복원된 영상의

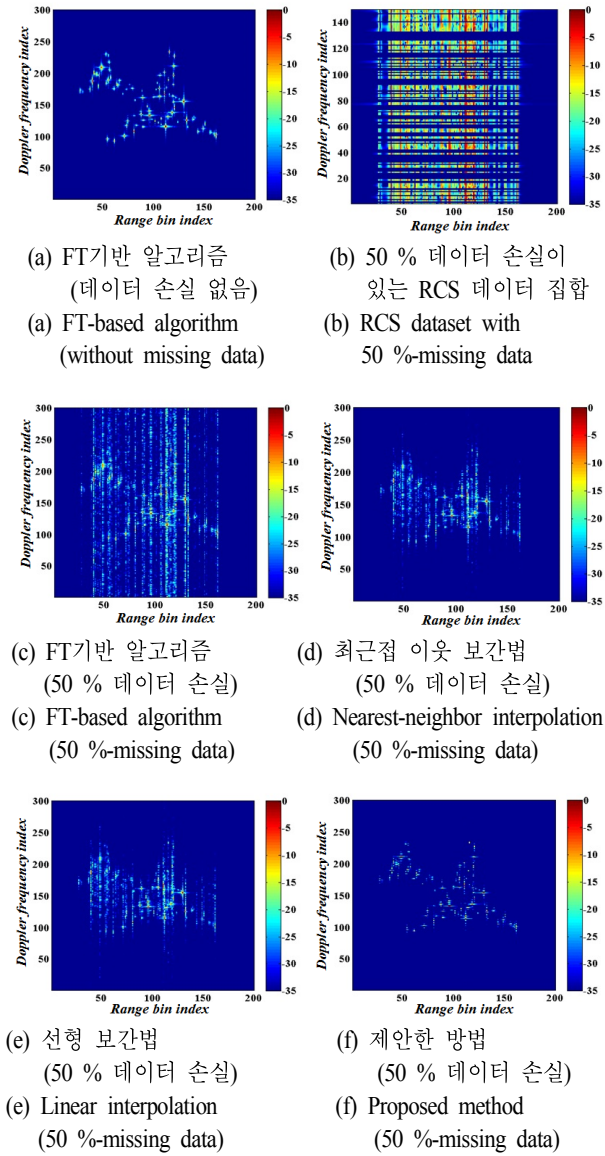


그림 3. ISAR 영상 복원 시뮬레이션 결과
 Fig. 3. Simulation results of recovery of ISAR images.

품질이 더 우수한 것을 관찰할 수 있다.

한편, 그림 3(f)의 결과에서 CPI 구간 동안 표적의 총 회전각도는 4.16도로 추정하였고, 이때 식 (11)에서 $\beta=1.1$ 이다. 이는 다음 그림 4의 결과로부터 설정하였으며, β 값에 따라 그 추정 성능이 변화하고, 최적의 β 값이 존재함을 관찰할 수 있다. 여기서, 그림 4의 y축은 실제 표적의 회전각도(θ)와 추정된 회전각도($\hat{\theta}$)와의 절대 차이(θ_{err}

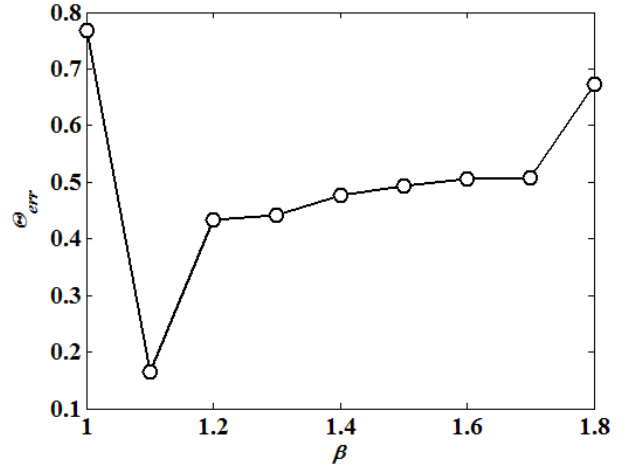


그림 4. β 값에 따른 추정된 표적의 회전각도 오차
 Fig. 4. β vs. estimated error for rotation rate of the target.

$= |\theta - \hat{\theta}|$)를 도기한 결과이다.

4-2 ISAR 영상 복원 성능

데이터 손실이 있는 RCS 데이터로부터 ISAR 영상 복원을 위한 알고리즘 성능의 정량적 평가를 위하여 다음 식 (12)와 같이 엔트로피(entropy) 증가를 이용한다.

$$H_{\Delta} = H_e^1 / H_e^2, \quad (12)$$

여기서, H_e^1 는 데이터 손실이 있는 RCS 데이터로부터 제안한 알고리즘 혹은 전통적인 보간법에 의해 복원한 ISAR 영상의 엔트로피를, H_e^2 는 데이터 손실이 있는 RCS 데이터에 기존 FT 기반 알고리즘을 적용한 ISAR 영상의 엔트로피를 각각 나타낸다. 여기서, 엔트로피 H_e 는 다음과 같이 정의된다.

$$H_e = - \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{P-1} \dot{I}(m,n) \ln(\dot{I}(m,n)), \quad (13)$$

여기서, $\dot{I}(m,n) = \frac{|I(m,n)|^2}{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{P-1} |I(m,n)|^2}$ 이다. ISAR 영상 복원 관점에서 H_{Δ} 값이 작을수록 영상의 품질이 좋은 것을 의미한다. 다음 표 2의 결과는 50 % 데이터 손실이 있는 RCS 데이터 샘플로부터 ISAR 영상을 복원할 경

표 2. ISAR 영상 복원 성능 비교

Tabel 2. Comparison of ISAR image reconstruction

항목	최근접 이웃 보간법		선형 보간법		제안 알고리즘	
	평균값 (mean)	표준 편차 (s.d.)	평균값 (mean)	표준 편차 (s.d.)	평균값 (mean)	표준 편차 (s.d.)
H_{Δ}	0.90	4e-10	0.85	3e-10	0.67	0.004

우, 각 기법의 H_{Δ} 를 비교한 결과로써, RCS 데이터 손실이 전체 데이터 중 랜덤으로 발생하였기 때문에 표 2의 H_{Δ} 는 50번을 수행하여 그 결과들의 평균값을 취한 결과이다. 이때, 그림 4의 결과에서 도출된 $\beta=1.1$ 을 적용하였다. 표 2의 결과에서와 같이 본 연구에서 제안한 알고리즘의 ISAR 영상 복원 성능이 두 보간법 성능보다 더 우수함을 관찰할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 CS 이론 기반의 sparse 복원 알고리즘인 IRLS를 레이더 신호 모델에 적용하고, PSO 최적화 기법과 결합하여 표적의 회전각도 추정 및 ISAR 영상 복원을 동시에 수행하였다. RCS 데이터 샘플에 데이터 손실이 발생할 경우, 기존 FT 기반 알고리즘으로는 ISAR 영상이 왜곡되는 반면, 본 연구에서 제안한 기법으로는 고해상도의 ISAR 영상을 복원함을 관찰할 수 있었다. 또한, 본 연구에서 제안한 기법을 적용한 결과, RCS 데이터 손실이 발생하더라도 전통적인 보간법들보다 왜곡이 거의 없는 품질이 우수한 ISAR 영상을 성공적으로 얻을 수 있음을 관찰할 수 있었다.

References

- [1] Ganer Ozdemir, *ISAR Imaging with MATLAB Algorithm*, John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [2] G. Y. Lu, Z. Bao, "Compensation of scatterer migration through resolution cell in inverse synthetic aperture radar imaging", *IEE Proc.-Radar, Sonar Navig.* vol. 147, no. 2, pp. 80-85, 2000.
- [3] J. Herd, et al., "Low cost multifunction phased array radar concept", *2010 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology (ARRAY) Conf.*, USA, pp. 457-460, 2010.
- [4] 배지훈, 김경태, 양은정, "Sparse 복원 알고리즘을 이용한 HRRP 및 ISAR 영상 형성에 관한 연구", *한국전자학회논문지*, 25(4), pp. 467-475, 2014년.
- [5] J. M. Munoz-Ferreras, F. Perez-Martinez, "Uniform rotational motion compensation for inverse synthetic aperture radar with non-cooperative targets", *IET Radar Sonar Navig.*, vol. 2, no. 1, pp. 25-34, 2008.
- [6] W. Rao, G. Li, and X. Wang, "A novel parametric sparse recovery method for ISAR image formation", *1st International Workshop on Compressed Sensing Applied to Radar (CoSeRa 2012)*, Bonn, Germany, 2012.
- [7] Michael Elad, *Sparse and Redundant Representation*, Springer, 2010.
- [8] J. Kennedy, R. Eberhart, "Particle swarm optimization", *IEEE International Conference on Neural Networks*, vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.
- [9] J. Wang, X. Liu, "Measurement of sharpness and its application in ISAR imaging", *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sens.*, vol. 51, no. 9, pp. 4885-4892, 2013.

배 지 훈



2000년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2013년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정
2002년 1월~2006년 12월: 한국전자통신

연구원 연구원

2007년 1월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
[주 관심분야] 레이더 신호 처리, HF/UHF RFID 시스템, RFID 디지털 모델, 배열안테나 빔형성, 최적화 기법

김 경 태



1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2002년 3월~2011년 2월: 영남대학교 전

자공학과 교수

2012년 9월~현재: 레이더/IR 표적식별 특화연구실 실장
2011년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수
[주 관심분야] 레이더 표적인식, 레이더 영상, 레이더 신호 처리, 패턴인식, 전자기수치해석 및 RCS 측정

강 병 수



2012년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
2014년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2014년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정
[주 관심분야] 레이더 영상, 자동 표적 인

식, 시간-주파수 분석

양 은 정



2004년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)
2006년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2011년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2011년 1월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] 능동 위상 배열 레이더 신호처리, ISAR 이동보상